

泊発電所 2 号炉

弁の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

北海道電力株式会社

泊発電所2号炉（以下、泊2号炉という。）の弁のうち、評価対象機器である重要度分類指針におけるクラス1、2及び高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器であって、冷温停止状態維持に必要な機器である。

弁を分類するにあたり、仕切弁、玉形弁等の汎用の弁を一般弁と定義して、本体部と駆動部に分類した。一般弁の本体部については、仕切弁、玉形弁等の型式ごとに分類し、駆動部については電動装置と空気作動装置の型式ごとに分類した。

一般弁の本体部及び駆動部については構造が基本的に同様で、環境等の使用条件により材質及び詳細な寸法を選定しているため、型式ごとに代表的な弁及び弁駆動装置を評価することが適当であると判断した。

一般弁の本体部及び駆動部の一覧を表1に、一般弁の種類と各々の使用系統を整理したものを表2に、また、使用系統の概要を表3に、弁の機能（一般弁の型式ごとの機能）を表4に示す。

本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

なお、冷温停止状態維持を前提とした本評価書では、「特別な保全計画」を含め、現状保全では「定期的」と記載するとともに、その上で点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

本評価書では弁の型式等を基に、以下の9つに分類している。

- 1 一般弁（本体部）
 - 1.1 仕切弁
 - 1.2 玉形弁
 - 1.3 バタフライ弁
 - 1.4 ダイヤフラム弁
 - 1.5 スイング逆止弁
 - 1.6 リフト逆止弁
 - 1.7 安全逃がし弁
- 2 一般弁（駆動部）
 - 2.1 電動装置
 - 2.2 空気作動装置

なお、一般弁の本体部及び駆動部のサポートは配管のサポートと同様であり、「配管の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

本評価書では経年劣化事象の評価のうち、劣化の観点から、冷温停止状態維持の前提に比べ、断続的運転の前提の方が条件が厳しいものは、断続的運転の条件による評価としている。

なお、断続的運転を前提とした場合には発生・進展が想定されるが、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されない経年劣化事象については、耐震安全性評価を実施するために、運転開始後30年時点までの劣化を考慮した技術評価の結果が必要であることから、◆印を付けて高経年化対策上着目すべき経年劣化事象又は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と区別した上で、技術評価（本評価書においては、保守的に運転開始後60年時点までの断続的運転を行うことを前提としている）を行った。

表1 泊2号炉 一般弁の一覧

一般弁	本体部	仕切弁
		玉形弁
		バタフライ弁
		ダイヤフラム弁
		スイング逆止弁
		リフト逆止弁
		安全逃がし弁
		電動装置
	駆動部	空気作動装置

表2 泊2号炉 主要な一般弁の使用系統及び型式別一覧

系統名	仕切弁	玉形弁	バタフライ弁	ダイヤフラム弁	スイング逆止弁	リフト逆止弁	安全逃がし弁
1次冷却系統	○	○		○		○	○
化学体積制御系統	○	○		○	○	○	○
安全注入系統	○	○			○	○	
余熱除去系統	○	○	○		○	○	○
原子炉格納容器スプレイ系統 (※)	○				○		
使用済燃料ピット水浄化冷却系統		○	○	○	○		
燃料取替用水系統	○	○		○	○	○	
1次系試料採取系統		○		○		○	
原子炉補給水系統 (※)				○		○	
主蒸気系統	○	○			○		○
主給水系統	○	○					
補助給水系統 (※)	○						
蒸気発生器ブローダウン系統 (※)		○					
原子炉補機冷却水系統	○	○	○		○	○	
制御用空気系統		○			○	○	○
所内用空気系統 (※)		○				○	
気体廃棄物処理系統				○		○	○
液体廃棄物処理系統		○	○	○		○	○
消火系統 (※)		○				○	
原子炉補機冷却海水系統		○	○	○	○		
補助蒸気系統	○	○			○	○	○
換気空調系統	○	○	○		○	○	
原子炉格納容器真空逃がし系統 (※)			○		○		
ディーゼル発電機設備	○	○	○	○	○	○	○
炉内中性子束監視装置 (※)				○			

- (注) 1. ○印は、当該弁ありを示す。
 2. 1次冷却材管には、主要な一般弁は設置していない。

(※) 原子炉格納容器バウンダリに該当するため原子炉格納容器隔離弁 (MS-1) を対象弁とする。

表3 泊2号炉 主要な一般弁の使用系統の概要

系統	概要
1次冷却系統	炉心で発生した熱を蒸気発生器で2次系に伝達する。
化学体積制御系統	1次冷却系統の1次冷却材保有量を適正に調整し、1次冷却材中の核分裂生成物、腐食生成物等の不純物を浄化する。
安全注入系統	1次冷却材喪失事故あるいは主蒸気管破断事故等に、ほう酸水を原子炉容器に注入することにより炉心の冷却かつ負の反応度添加を行う。
余熱除去系統	炉を停止した後に1次冷却系統に残留している熱、炉心の崩壊熱及び1次冷却系統を均一に冷却する目的で運転する1次冷却材ポンプの発生熱を除去し、1次冷却系統を降温させる。
使用済燃料ピット水浄化冷却系統	使用済燃料ピット中の使用済燃料からの崩壊熱を除去し、使用済燃料ピット水の冷却を行うとともに、使用済燃料ピット、原子炉キャビティ及び燃料取替用水タンクのほう酸水を浄化する。
燃料取替用水系統	燃料取替用水タンク水の水温の維持及び使用済燃料ピットの補給水としてほう酸水を補給する。
1次系試料採取系統	1次冷却材等の化学的性質及び放射性物質の種類と量を把握するための流体サンプルを採取する。
主蒸気系統	蒸気発生器にて発生した蒸気をタービンに送る。
主給水系統	蒸気発生器の水位を維持するために給水を蒸気発生器に供給する。
原子炉補機冷却水系統	1次系補機に冷却水を供給する。
制御用空気系統	清浄で乾燥した圧縮空気を空気作動弁、空気式機器及び計測制御機器等に供給する。
気体廃棄物処理系統	窒素をカバーガスとする各タンクからのベントガス等の窒素廃ガス及び体積制御タンク等からパージされる水素廃ガスを貯留し、放射能を減衰処理する。
液体廃棄物処理系統	液体廃棄物を濃縮処理し、廃液と蒸留液に分ける。
原子炉補機冷却海水系統	系統及び機器において発生又は蓄積された熱を除去する。
補助蒸気系統	スチームコンバータ等にて発生した蒸気を各補機に送る。
換気空調系統	各建屋の換気、空調を行う。
ディーゼル発電機設備	外部電源喪失時に、安全系の機器の駆動に必要な電力を供給する。
原子炉格納容器隔離	原子炉格納容器のバウンダリ。

表4 泊2号炉 弁の機能

弁	種類	機能
一般弁	仕切弁	主に流体の仕切に使用する弁である。
	玉形弁	主に流体の仕切及び流量調節に使用する弁である。
	バタフライ弁	
	ダイヤフラム弁	主に流体の仕切に使用する弁である。
	スイング逆止弁	主に流体の流れ方向を制限するために使用する弁である。
	リフト逆止弁	
	安全逃がし弁	主に流体吹き出しにより入口圧力を抑制するために使用する弁である。

1 一般弁（本体部）

[対象機器]

- 1.1 仕切弁
- 1.2 玉形弁
- 1.3 バタフライ弁
- 1.4 ダイヤフラム弁
- 1.5 スイング逆止弁
- 1.6 リフト逆止弁
- 1.7 安全逃がし弁

1.1 仕切弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統仕切弁
- ② 化学体積制御系統仕切弁
- ③ 安全注入系統仕切弁
- ④ 余熱除去系統仕切弁
- ⑤ 原子炉格納容器スプレイ系統仕切弁
- ⑥ 燃料取替用水系統仕切弁
- ⑦ 主蒸気系統仕切弁
- ⑧ 主給水系統仕切弁
- ⑨ 補助給水系統仕切弁
- ⑩ 原子炉補機冷却水系統仕切弁
- ⑪ 補助蒸気系統仕切弁
- ⑫ 換気空調系統仕切弁
- ⑬ ディーゼル発電機設備仕切弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造, 材料及び使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	13
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	21
3. 代表機器以外への展開	25
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	25
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	26

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されている仕切弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの仕切弁を設置場所，材料及び内部流体の観点からグループ化し，それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す仕切弁について，設置場所，材料及び内部流体を分離基準として考えると，合計 3 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：1 次冷却材

このグループには，余熱除去系統，1 次冷却系統，化学体積制御系統，安全注入系統，原子炉格納容器スプレイ系統及び燃料取替用水系統の仕切弁が属するが，重要度の高い余熱除去ライン入口止め弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：蒸気，給水又は純水

このグループには，主蒸気系統，補助蒸気系統，主給水系統，補助給水系統及びディーゼル発電機設備の仕切弁が属するが，重要度及び最高使用温度が高い主蒸気逃がし弁元弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：ヒドラジン水又は油

このグループには，原子炉補機冷却水系統，換気空調系統，化学体積制御系統及びディーゼル発電機設備の仕切弁が属するが，最高使用温度が高い格納容器再循環ユニット補機冷却水入口 C/V 外側隔離弁を代表機器とする。

表1-1(1/2) 泊2号炉 仕切弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
			最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)							
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	22	余熱除去系統	6~18	PS-1, MS-1	約17.2	約343	◎	余熱除去ライン入口止め弁(10B)	重要度
			2	1次冷却系統	3	PS-1	約17.2	約360			
			13	化学体積制御系統	4	MS-1, PS-2	約18.8	約95			
			8	安全注入系統	3~6	MS-1	約17.2	約200			
			2	原子炉格納容器スプレイ系統	10	MS-1	約2.7	約150			
			3	燃料取替用水系統	4~6	MS-1, MS-2	約0.3	約129			

*1: 機能は最上位の機能を示す。

表1-1(2/2) 泊2号炉 仕切弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
			最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)							
屋内	炭素鋼	蒸気	4	主蒸気系統	4~6	MS-1	約 7.5	約291	◎	主蒸気逃がし弁元弁 (6B)	重要度 最高使用温度
			47	補助蒸気系統	3/4~10	高*2	約 0.9	約185			
		給水	2	主給水系統	16	MS-1	約 9.6	約240			
		純水	2	補助給水系統	4	MS-1	約11.8	約240			
			10	ディーゼル発電機設備	1~6	MS-1	約 0.5	約 90			
			67	補助蒸気系統	1/2~8	高*2	約 0.9	約185			
		ヒドラジン水	65	原子炉補機冷却水系統	2~18	MS-1	約 1.4	約129	◎	格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁 (6B)	最高使用温度
			22	換気空調系統	2~6	MS-1	約 1.0	約 55			
		油	3	化学体積制御系統	1・1/4	MS-1	約 1.0	約 70			
			4	ディーゼル発電機設備	6	MS-1	約 0.8	約 80			

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の3種類の仕切弁について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去ライン入口止め弁
- ② 主蒸気逃がし弁元弁
- ③ 格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 余熱除去ライン入口止め弁

(1) 構造

泊2号炉の余熱除去ライン入口止め弁は、電動仕切弁であり、余熱除去系統に設置されている。

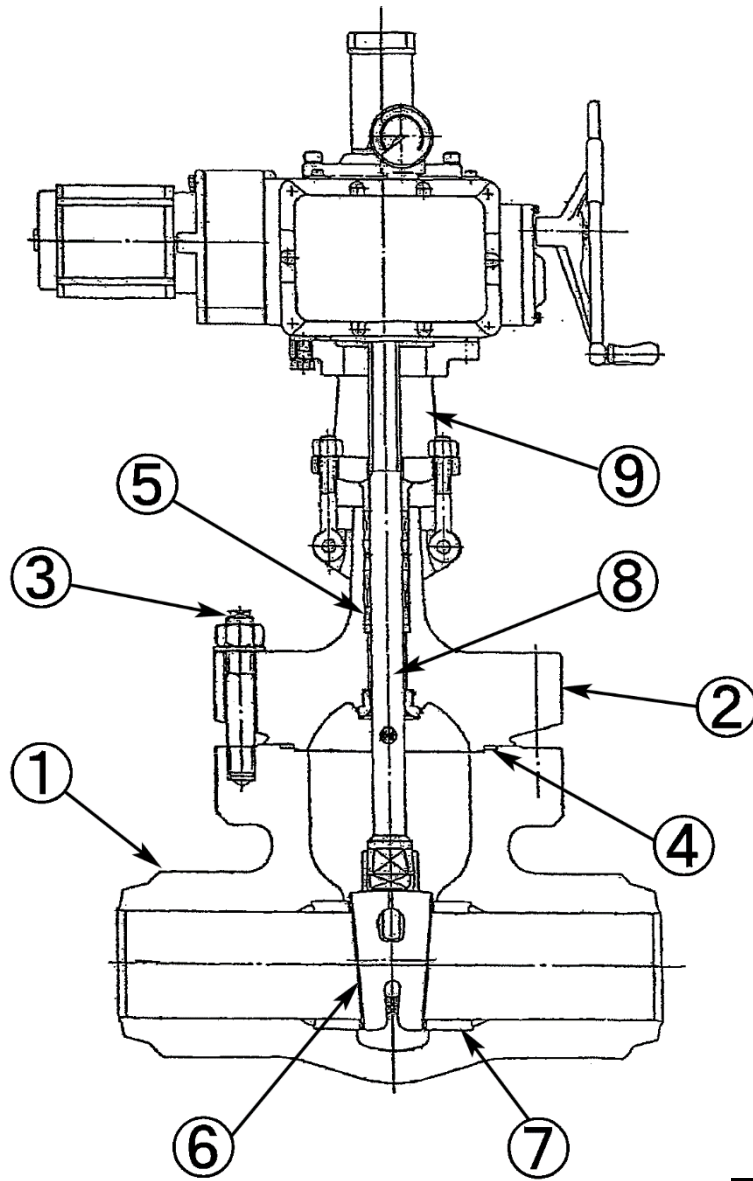
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋及び弁体にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

泊2号炉の余熱除去ライン入口止め弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の余熱除去ライン入口止め弁の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ヨーク

図2.1-1 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁構造図

表2.1-1 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表2.1-2 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 主蒸気逃がし弁元弁

(1) 構造

泊2号炉の主蒸気逃がし弁元弁は、電動仕切弁であり、主蒸気系統に設置されている。

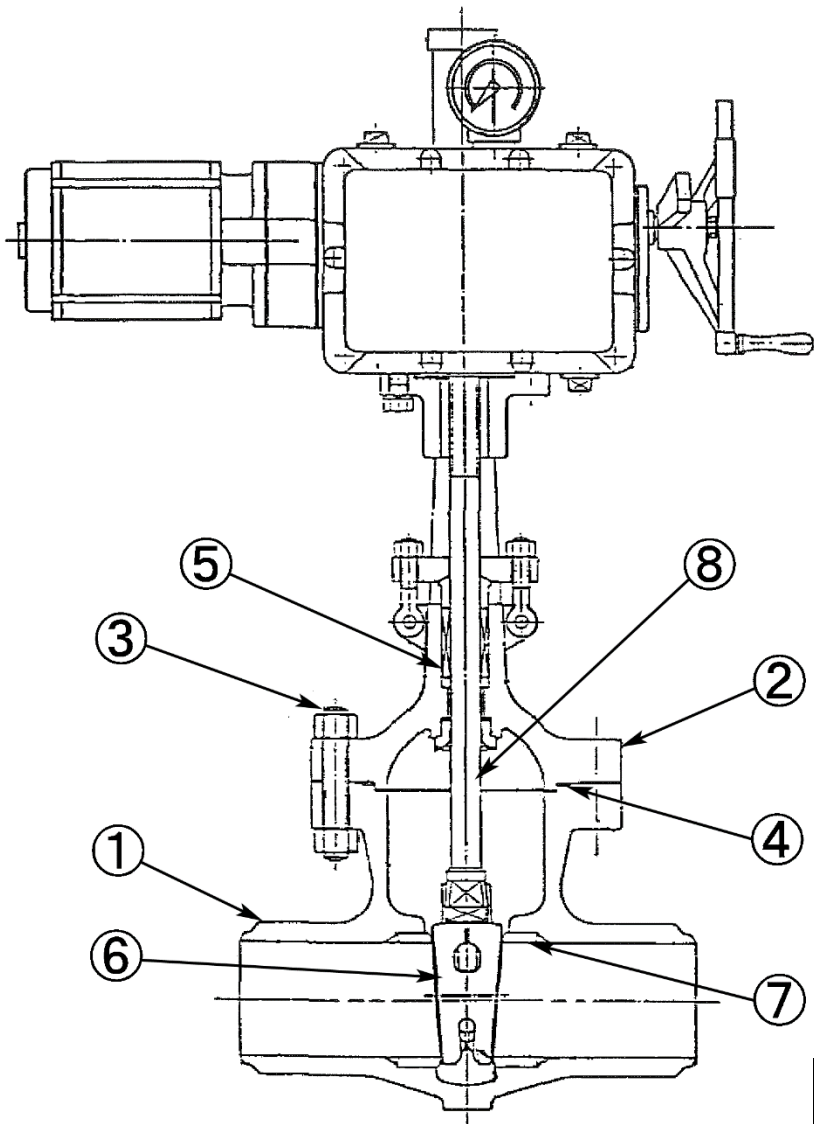
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋及び弁体には炭素鋼鋳鋼を使用しており、蒸気に接している。

泊2号炉の主蒸気逃がし弁元弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の主蒸気逃がし弁元弁の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒

図2.1-2 泊2号炉 主蒸気逃がし弁元弁構造図

表2.1-3 泊2号炉 主蒸気逃がし弁元弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-4 泊2号炉 主蒸気逃がし弁元弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.3 格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁

(1) 構造

泊2号炉の格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁は、電動仕切弁であり、原子炉補機冷却水系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱及び弁体には炭素鋼鋳鋼、弁蓋には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

泊2号炉の格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。

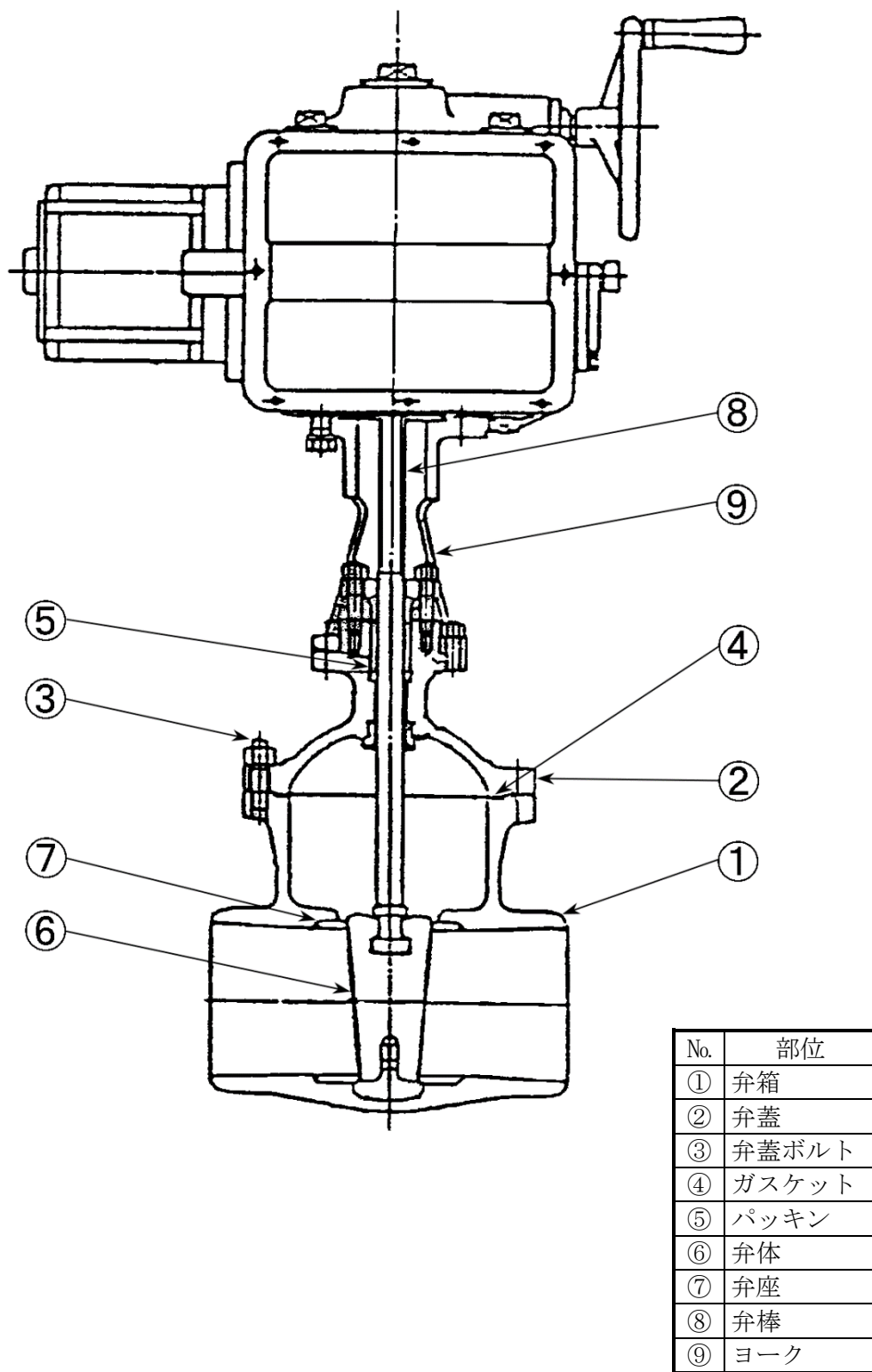


図2.1-3 泊2号炉 格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁構造図

表2.1-5 泊2号炉 格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表2.1-6 泊2号炉 格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁の
使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	ヒドラジン水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

仕切弁の機能である流体の仕切機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

仕切弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

なお、◆は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象には該当しないが、耐震安全性評価を実施するために本項に記載する。

(1) 弁箱の疲労割れ（◆） [余熱除去ライン入口止め弁]

余熱除去ライン入口止め弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁箱及び弁蓋の熱時効 [余熱除去ライン入口止め弁]

ステンレス鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は、使用温度が250℃以上と高いため熱時効による材料の特性変化が想定されるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、更に運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は弁の開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) ヨークの腐食（全面腐食） [余熱除去ライン入口止め弁、格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁]

炭素鋼鋳鋼のヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） [主蒸気逃がし弁元弁]

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体及び弁座は、内部流体（蒸気）による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (7) 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気逃がし弁元弁，格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は，外面からの腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (8) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

低合金鋼の弁蓋ボルトは，ガスケットからの漏えいにより，内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により有意な腐食がないことを確認し，締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (9) 弁体及び弁棒連結部の摩耗〔共通〕

弁体と弁棒の連結部ははめ込み式であるため，弁内部の流れにより弁体が振動する可能性があり，連結部の摩耗が想定される。

しかしながら，弁体にはその振動等を拘束するための弁体ガイドを設けるとともに，流れの影響を受けないよう開弁時には弁体を弁蓋内に収める構造としている。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

(10) 弁棒の応力腐食割れ [共通]

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒の亀裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、泊2号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

(11) 弁箱等の腐食（全面腐食） [格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁]

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体及び弁座は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、腐食が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケット及びパッキンは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/3) 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼			○◆		△		◆：冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されないが、耐震安全性評価のために評価する *1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼					△			
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/3) 泊2号炉 主蒸気逃がし弁元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1：流れ加速型腐食 *2：全面腐食（外面） *3：隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△	△ ^{*1}						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ ^{*1}						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*3}		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/3) 泊2号炉 格納容器再循環ユニット補機冷却水入口C/V外側隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△					*1：隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 弁箱の疲労割れ（◆）〔余熱除去ライン入口止め弁〕

a. 事象の説明

余熱除去ライン入口止め弁は、プラント起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

余熱除去ライン入口止め弁の高応力部位を対象とした健全性評価を以下に示す要領にて実施した。評価対象部位を図2.3-1に示す。

応力については、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

劣化が進展すると仮定した場合における運転開始後60年時点の疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、当該条件は冷温停止状態を前提とした運転開始後30年時点における評価条件を包含している。

それぞれの評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時の目視確認により状態を確認し、異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

なお、本事象については冷温停止状態では進展することがないことから、更に問題となる可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

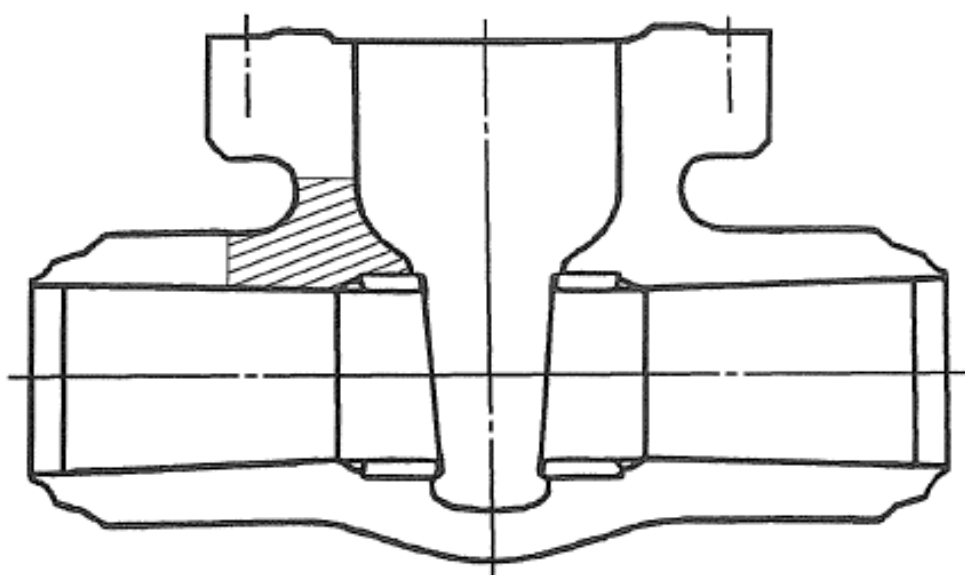


図2.3-1 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁の評価用過渡条件

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	28	67
停止(温度下降率55.6°C/h)	28	67
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	224	724
負荷減少(負荷減少率5%/min)	216	716
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	17	60
0%から15%への負荷上昇	28	63
15%から0%への負荷減少	20	59
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停止	0	1
II) 起動	0	1

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	1
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	1
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	1
1次冷却系の異常な減圧	0	1
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	0	1
タービン回転試験	5	5
1次系漏えい試験	21	56

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値: 1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.003	0.087

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 弁箱の疲労割れ（◆） [1次冷却系統の弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける余熱除去ライン入口止め弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値を満足する結果が得られており、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 弁箱及び弁蓋の熱時効 [1次冷却系統及び余熱除去系統の弁]

ステンレス鋼製の弁箱及び弁蓋は、使用温度が250℃以上と高いと熱時効による材料の特性変化が想定されるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認している。

更に疲労評価上厳しくなると考えられる代表弁では、運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は弁の開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 弁棒の腐食（隙間腐食）〔共通〕

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 ヨークの腐食（全面腐食）〔炭素鋼，炭素鋼鋳鋼又は鋳鉄のヨークのある弁〕

ヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気系統，補助蒸気系統及び主給水系統の弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁体及び弁座は，内部流体（蒸気又は高速の水）による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔炭素鋼，炭素鋼鋳鋼，低合金鋼，低合金鋼鋳鋼又は鋳鉄の弁箱及び弁蓋のある弁〕

弁箱及び弁蓋は，外面からの腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔補助給水系統，ディーゼル発電機設備及び補助蒸気系統の弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁体及び弁座は，内部流体の飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水による腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認等により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトのある弁〕

弁蓋ボルトは，ガスケットからの漏えいにより，内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認等により有意な腐食がないことを確認し，締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.10 弁体及び弁棒連結部の摩耗〔共通〕

弁体と弁棒の連結部ははめ込み式であるため，弁内部の流れにより弁体が振動する可能性があり，連結部の摩耗が想定される。

しかしながら，弁体にはその振動等を拘束するための弁体ガイドを設けるとともに，流れの影響を受けないよう開弁時には弁体を弁蓋内に収める構造としている。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.2.11 弁棒の応力腐食割れ [共通]

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒の亀裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、泊2号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.2.12 弁箱等の腐食（全面腐食） [原子炉補機冷却水系統，換気空調系統，化学体積制御系統及びディーゼル発電機設備の弁]

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁体及び弁座は，内部流体による腐食が想定される。

しかしながら，内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）又は油であり，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

1.2 玉形弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統玉形弁
- ② 化学体積制御系統玉形弁
- ③ 安全注入系統玉形弁
- ④ 余熱除去系統玉形弁
- ⑤ 使用済燃料ピット水浄化冷却系統玉形弁
- ⑥ 燃料取替用水系統玉形弁
- ⑦ 1次系試料採取系統玉形弁
- ⑧ 主蒸気系統玉形弁
- ⑨ 主給水系統玉形弁
- ⑩ 蒸気発生器ブローダウン系統玉形弁
- ⑪ 原子炉補機冷却水系統玉形弁
- ⑫ 制御用空気系統玉形弁
- ⑬ 所内用空気系統玉形弁
- ⑭ 液体廃棄物処理系統玉形弁
- ⑮ 消火系統玉形弁
- ⑯ 原子炉補機冷却海水系統玉形弁
- ⑰ 補助蒸気系統玉形弁
- ⑱ 換気空調系統玉形弁
- ⑲ ディーゼル発電機設備玉形弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	7
2.1 構造, 材料及び使用条件	7
2.2 経年劣化事象の抽出	28
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	40
3. 代表機器以外への展開	44
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	44
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	45

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されている玉形弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの玉形弁を設置場所、材料及び内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す玉形弁について、設置場所、材料及び内部流体を分離基準として考えると、合計 7 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1 次冷却材

このグループには、1 次冷却系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統、換気空調系統、燃料取替用水系統、1 次系試料採取系統及び使用済燃料ピット水浄化冷却系統の玉形弁が属するが、重要度及び最高使用温度が高い抽出ライン止め弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：廃液

このグループには、液体廃棄物処理系統のみが属することから、低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：蒸気、給水又は純水

このグループには、1 次冷却系統、主蒸気系統、補助蒸気系統、主給水系統、化学体積制御系統、液体廃棄物処理系統及び蒸気発生器ブローダウン系統の玉形弁が属するが、重要度及び最高使用温度が高い加圧器水位計上部元弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼又は銅合金、内部流体：窒素ガス、油、空気、希ガス等又はフロン

このグループには、1 次冷却系統、ディーゼル発電機設備、1 次系試料採取系統、化学体積制御系統及び換気空調系統の玉形弁が属するが、重要度及び最高使用温度が高い加圧器逃がしタンク自動ガス分析ライン C/V 内側隔離弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内，材料：銅合金，内部流体：海水

このグループには，原子炉補機冷却海水系統の玉形弁のみが属することから，原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁を代表機器とする。

- (6) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼又は低合金鋼，内部流体：蒸気，給水，純水又は淡水

このグループには，主蒸気系統，補助蒸気系統，蒸気発生器ブローダウン系統，ディーゼル発電機設備及び消火系統の玉形弁が属するが，重要度，最高使用温度及び最高使用圧力が高く，口径の大きい主蒸気逃がし弁を代表機器とする。

- (7) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：窒素ガス，油，空気又はヒドラジン水

このグループには，安全注入系統，原子炉補機冷却水系統，化学体積制御系統，ディーゼル発電機設備，所内用空気系統，制御用空気系統，換気空調系統及び余熱除去系統の玉形弁が属するが，重要度，最高使用温度及び最高使用圧力が高い蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁を代表機器とする。

表1-1(1/4) 泊2号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	28	1次冷却系統	3/4~3	PS-1, MS-1, PS-2	約17.2	約360	◎	抽出ライン止め弁(2B)	重要度 最高使用温度
			56	化学体積制御系統	3/4~3	PS-1, MS-1, PS-2, 高*2	約18.8	約343			
			4	安全注入系統	3/4~1	MS-1	約17.2	約150			
			8	余熱除去系統	3/4~3	MS-1, PS-2, MS-2	約 4.5	約200			
			2	換気空調系統	3/4	MS-1	約 0.3	約129			
			4	燃料取替用水系統	3/4~3	MS-2	約 1.0	約 95			
			37	1次系試料採取系統	3/8~3/4	MS-1, MS-2, 高*2	約17.2	約360			
			3	使用済燃料ピット水浄化冷却系統	3~4	MS-2	約 1.0	約 95			
		5	液体廃棄物処理系統	1~3	高*2	約 1.0	約150	◎	低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁(3B)		
		4	1次冷却系統	3/4	MS-1	約17.2	約360	◎	加圧器水位計上部元弁(3/4B)	重要度 最高使用温度	
		10	主蒸気系統	3/4	MS-1	約 7.5	約291				
		1	補助蒸気系統	2	高*2	約0.09	約170				
		18	主給水系統	3/4	MS-1, MS-2	約 7.5	約291				
		純水	9	化学体積制御系統	3/4~2	MS-2, 高*2	約 1.4	約150			
			6	液体廃棄物処理系統	3/4~1・1/2	高*2	約 1.0	約150			
			2	蒸気発生器ブローダウン系統	3/8	MS-1	約 7.5	約291			
			2	補助蒸気系統	3/8~1/2	高*2	約 0.9	約185			

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表1-1(2/4) 泊2号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)			
屋内	ステンレス鋼	窒素ガス	2	1次冷却系統	3/8	MS-1	約0.7	約170	◎	加圧器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁(3/8B)	重要度 最高使用温度
		空気	26	ディーゼル発電機設備	3/8~2・1/2	MS-1, 高*2	約3.2	約90			
			9	1次系試料採取系統	3/4	MS-1, 高*2	約1.0	約129			
		希ガス等	1	化学体積制御系統	3/4	高*2	約0.7	約150			
	銅合金	油	16	換気空調系統	1/4~3/4	MS-1	約0.7	約75			
			3	化学体積制御系統	1	MS-1	約1.0	約70			
		フロン	20	換気空調系統	1/4~4	MS-1	約0.1	約100			
		海水	2	原子炉補機冷却海水系統	3/4	MS-2	約0.7	約50			

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表1-1(3/4) 泊2号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)			
屋内	炭素鋼, 低合金鋼	蒸気	12	主蒸気系統	3/4~6	MS-1	約7.5	約291	◎	主蒸気逃がし弁(6B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力 口径
		炭素鋼	蒸気	46	補助蒸気系統	1/2~4	高*2	約0.9			
	炭素鋼	給水	2	主蒸気系統	2	MS-1	約7.5	約291			
	炭素鋼	純水	2	蒸気発生器ブローダウン系統	3	MS-1	約7.5	約291			
	炭素鋼	純水	20	ディーゼル発電機設備	1/2~5	MS-1	約0.5	約90			
	炭素鋼	純水	28	補助蒸気系統	1/2~3	高*2	約0.9	約185			
	炭素鋼	淡水	1	消火系統	2	MS-1	約1.5	約129			

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表1-1(4/4) 泊2号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)			
屋内	炭素鋼	窒素ガス	1	安全注入系統	1	MS-1	約17.2	約129	◎	蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁(1B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力
			2	原子炉補機冷却水系統	3/4	MS-2	約 0.3	約 95			
		油	9	化学体積制御系統	1~1.1/2	MS-1	約 1.0	約 70			
			28	ディーゼル発電機設備	3/4~3	MS-1	約 0.8	約 80			
		空気	1	所内用空気系統	2	MS-1	約 0.8	約129			
			46	制御用空気系統	3/4~6	MS-1, MS-2	約 0.8	約129			
			5	換気空調系統	3/4	MS-1	約 0.3	約129			
		ヒドラジン水	8	余熱除去系統	1/2~3/4	MS-1	約 1.4	約 95			
			16	換気空調系統	1~4	MS-1	約 1.0	約129			
			89	原子炉補機冷却水系統	1/2~3	MS-1, MS-2	約 1.4	約 95			

*1: 機能は最上位の機能を示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の7種類の玉形弁について技術評価を実施する。

- ① 抽出ライン止め弁
- ② 低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁
- ③ 加圧器水位計上部元弁
- ④ 加圧器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁
- ⑤ 原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁
- ⑥ 主蒸気逃がし弁
- ⑦ 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁

2.1 構造，材料及び使用条件

2.1.1 抽出ライン止め弁

(1) 構造

泊2号炉の抽出ライン止め弁は空気作動玉形弁であり，1次冷却系統に設置されている。

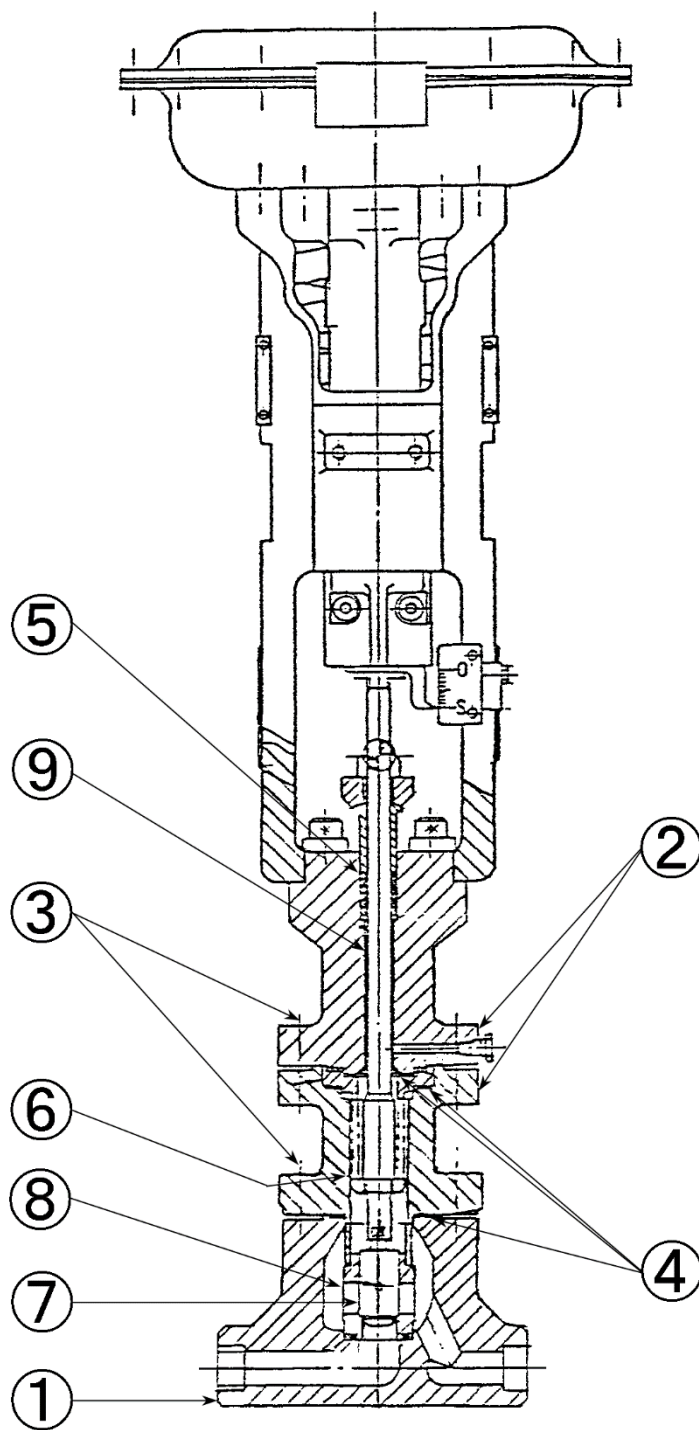
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱，弁蓋，弁蓋ボルト，ガスケット，パッキン，ベローズ），流体を仕切る隔離部（弁体，弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱，弁蓋及び弁体にはステンレス鋼を使用しており，1次冷却材に接液している。

泊2号炉の抽出ライン止め弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の抽出ライン止め弁の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	ベローズ
⑦	弁体
⑧	弁座
⑨	弁棒

図2.1-1 泊2号炉 抽出ライン止め弁構造図

表2.1-1 泊2号炉 抽出ライン止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	耐熱鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
ベローズ	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-2 泊2号炉 抽出ライン止め弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁

(1) 構造

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁は空気作動玉形弁であり、液体廃棄物処理系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン、ベローズ）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋及び弁体にはステンレス鋼を使用しており、廃液に接液している。

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。

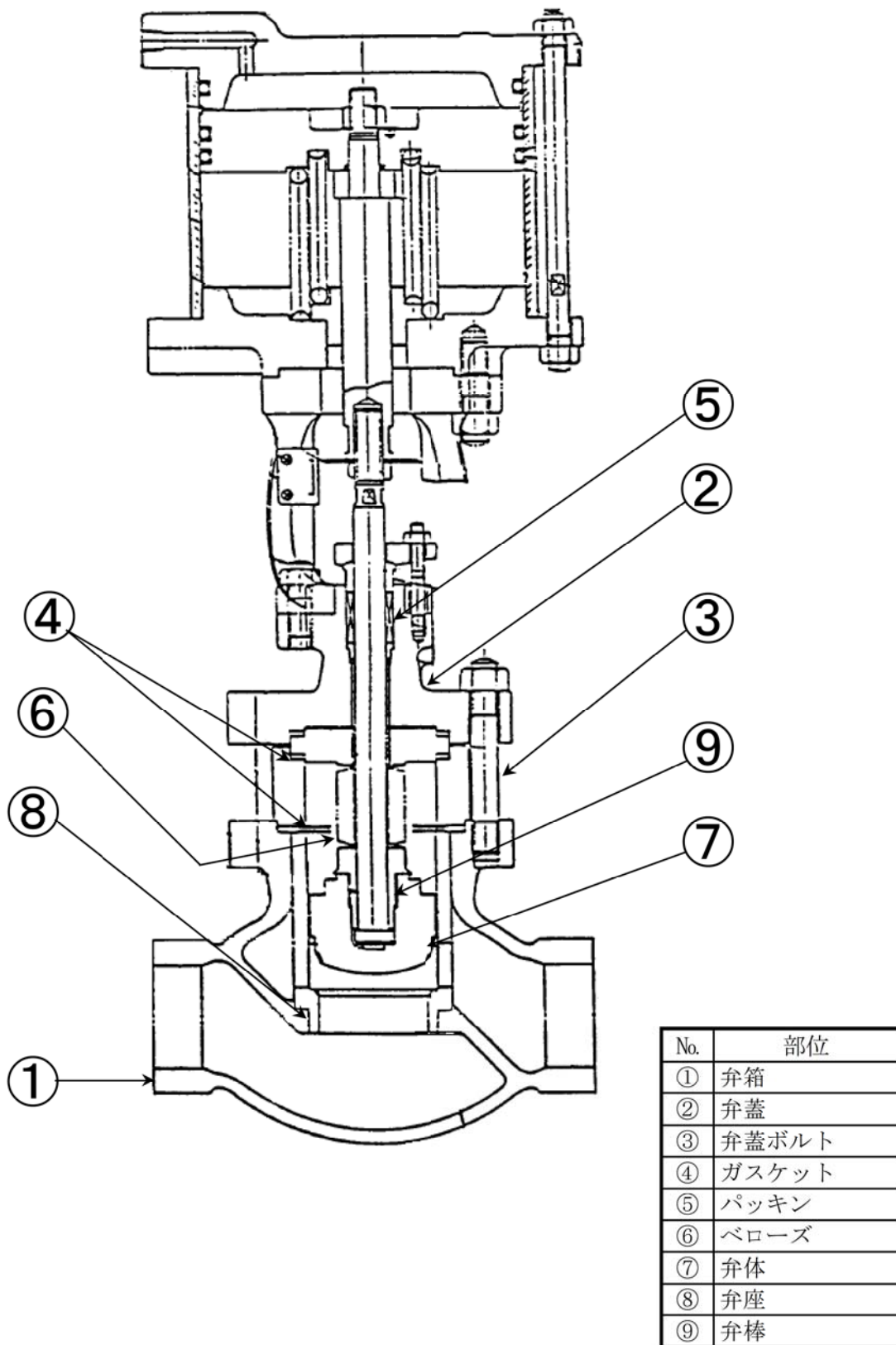


図2.1-2 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁構造図

表2.1-3 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
ベローズ	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-4 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約150°C
内部流体	廃液

2.1.3 加圧器水位計上部元弁

(1) 構造

泊2号炉の加圧器水位計上部元弁は手動玉形弁であり、1次冷却系統に設置されている。

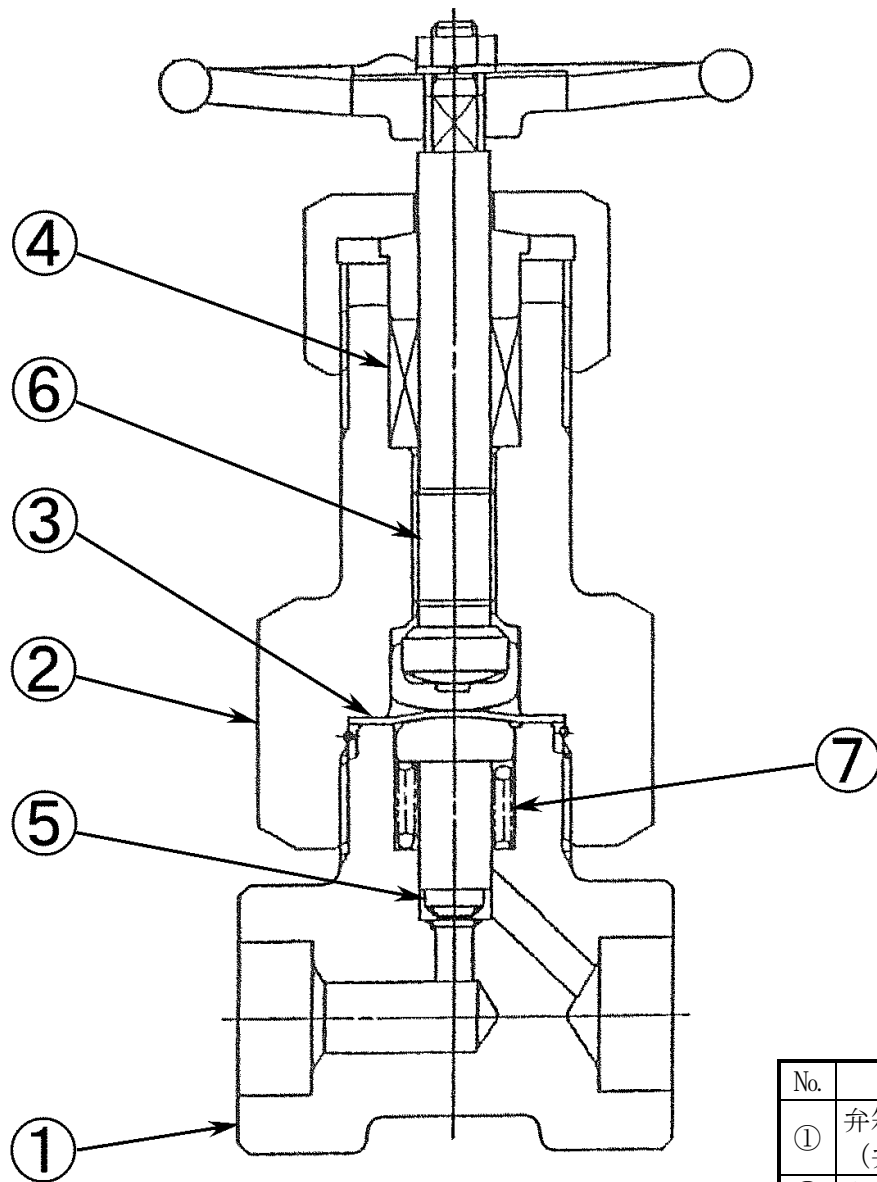
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、ダイヤフラム）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋及び弁体にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

泊2号炉の加圧器水位計上部元弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の加圧器水位計上部元弁の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	ダイヤフラム
④	パッキン
⑤	弁体
⑥	弁棒
⑦	ばね

図2.1-3 泊2号炉 加压器水位計上部元弁構造図

表2.1-5 泊2号炉 加圧器水位計上部元弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-6 泊2号炉 加圧器水位計上部元弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約360℃
内部流体	蒸気

2.1.4 加圧器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁

(1) 構造

泊2号炉の加圧器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁は空気作動玉形弁であり、1次冷却系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン、ベローズ）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋及び弁体にはステンレス鋼を使用しており、窒素ガスに接している。

泊2号炉の加圧器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の加圧器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。

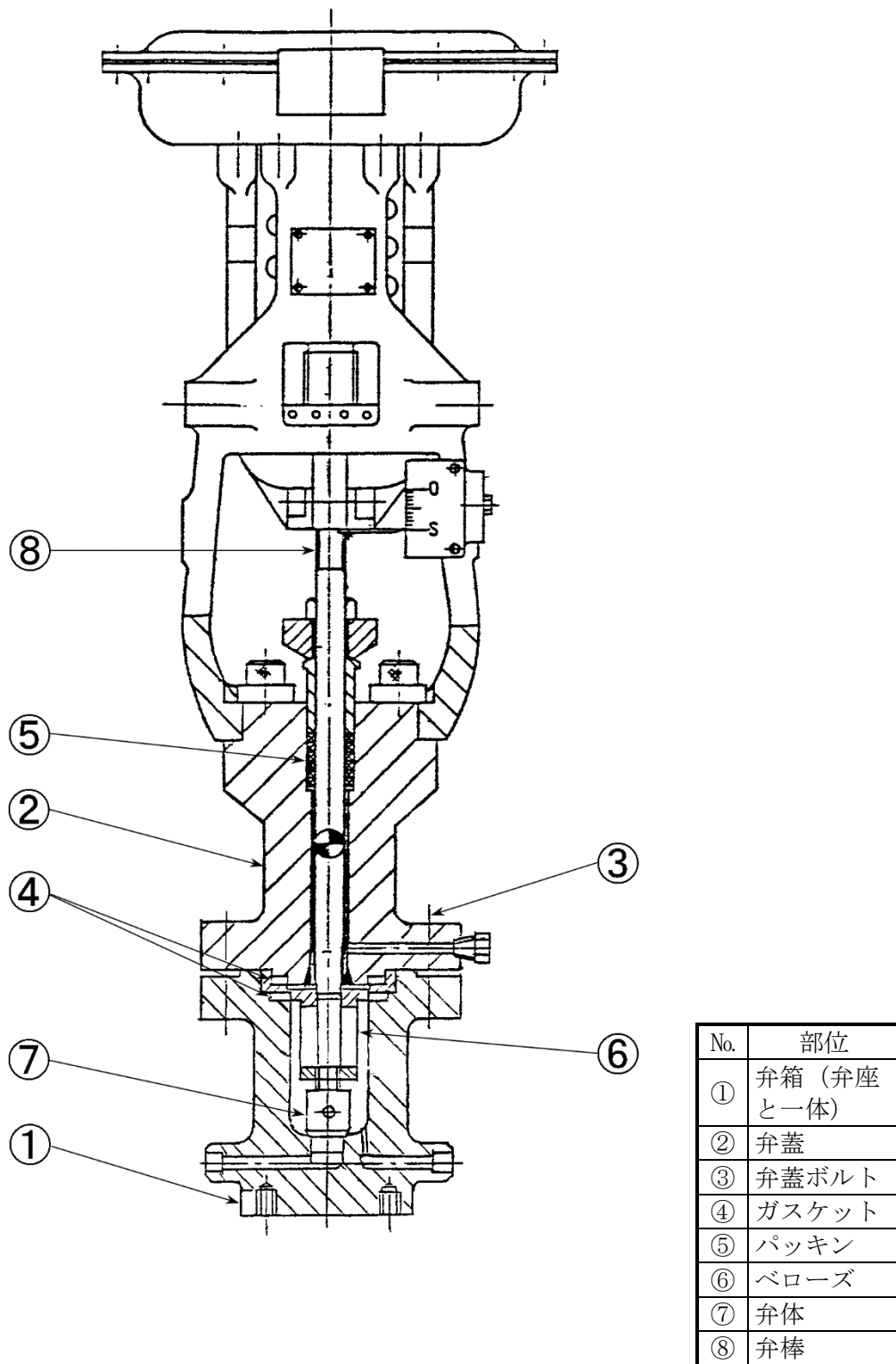


図2.1-4 泊2号炉 加压器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁構造図

表2.1-7 泊2号炉 加压器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	耐熱鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
ベローズ	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-8 泊2号炉 加压器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁の
使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約170℃
内部流体	窒素ガス

2.1.5 原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁

(1) 構造

泊2号炉の原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁は手動玉形弁であり、原子炉補機冷却海水系統に設置されている。

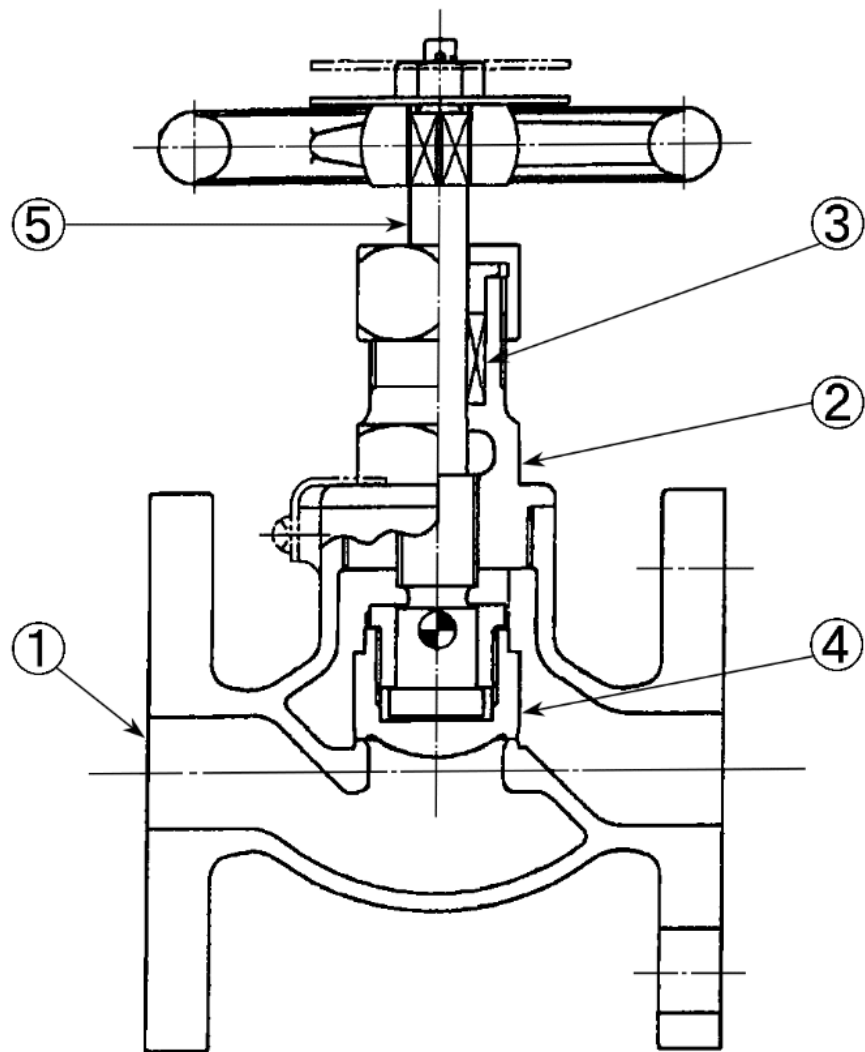
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部(弁箱, 弁蓋, パッキン), 流体を仕切る隔離部(弁体)及び弁体を作動させる作動部(弁棒)からなる。

弁箱, 弁体及び弁体には銅合金鋳物を使用しており、海水に接液している。

泊2号炉の原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁の使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	パッキン
④	弁体
⑤	弁棒

図2.1-5 泊2号炉 原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁構造図

表2.1-9 泊2号炉 原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	消耗品・定期取替品
弁蓋	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	消耗品・定期取替品
弁棒	消耗品・定期取替品

表2.1-10 泊2号炉 原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.6 主蒸気逃がし弁

(1) 構造

泊2号炉の主蒸気逃がし弁は空気作動玉形弁であり、主蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱及び弁蓋には低合金鋳鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

泊2号炉の主蒸気逃がし弁の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の主蒸気逃がし弁の使用材料及び使用条件を表2.1-11及び表2.1-12に示す。

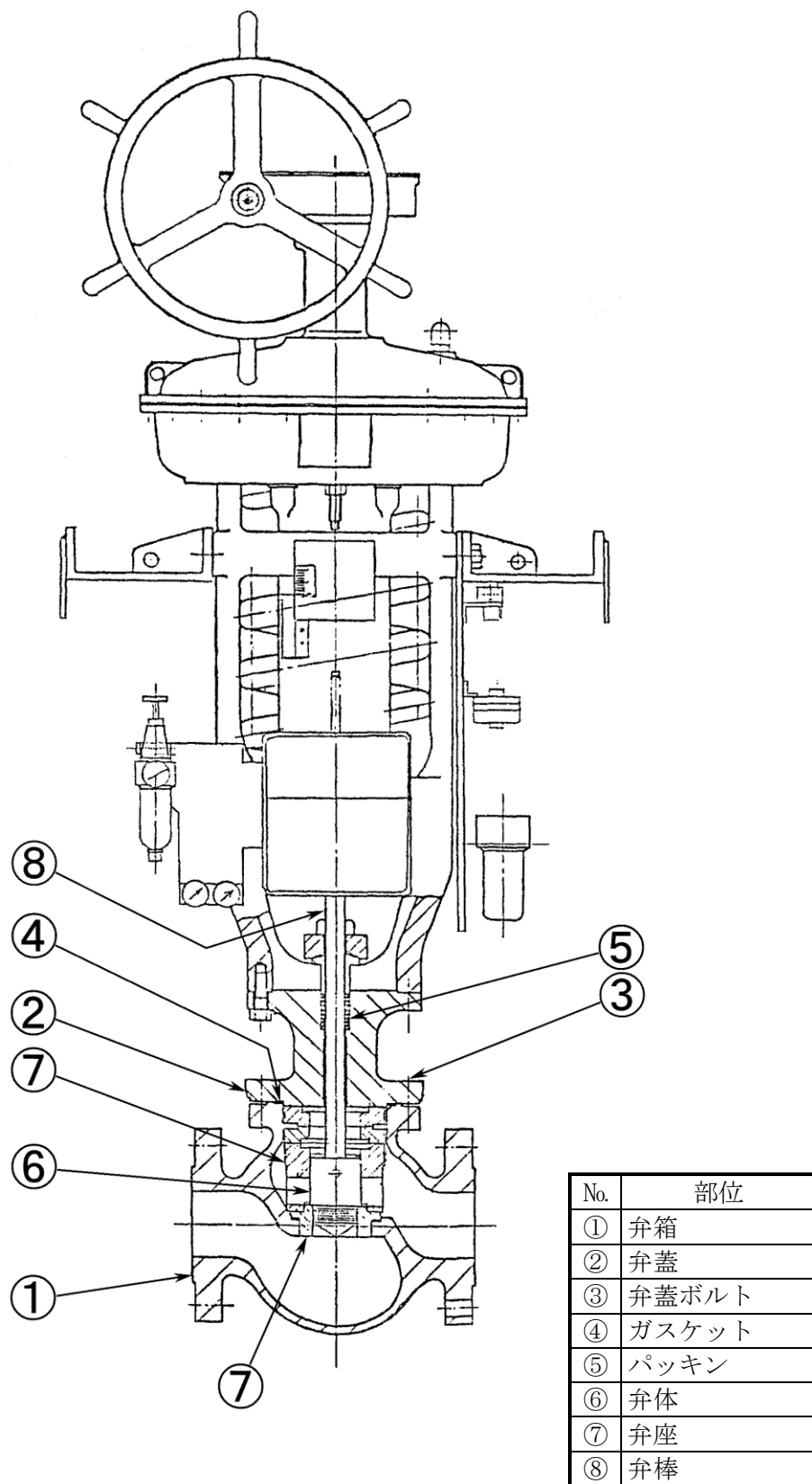


図2.1-6 泊2号炉 主蒸気逃がし弁構造図

表2.1-11 泊2号炉 主蒸気逃がし弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	低合金鋼鑄鋼
弁蓋	低合金鋼鑄鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-12 泊2号炉 主蒸気逃がし弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.7 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁

(1) 構造

泊2号炉の蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁は空気作動玉形弁であり、安全注入系統に設置されている。

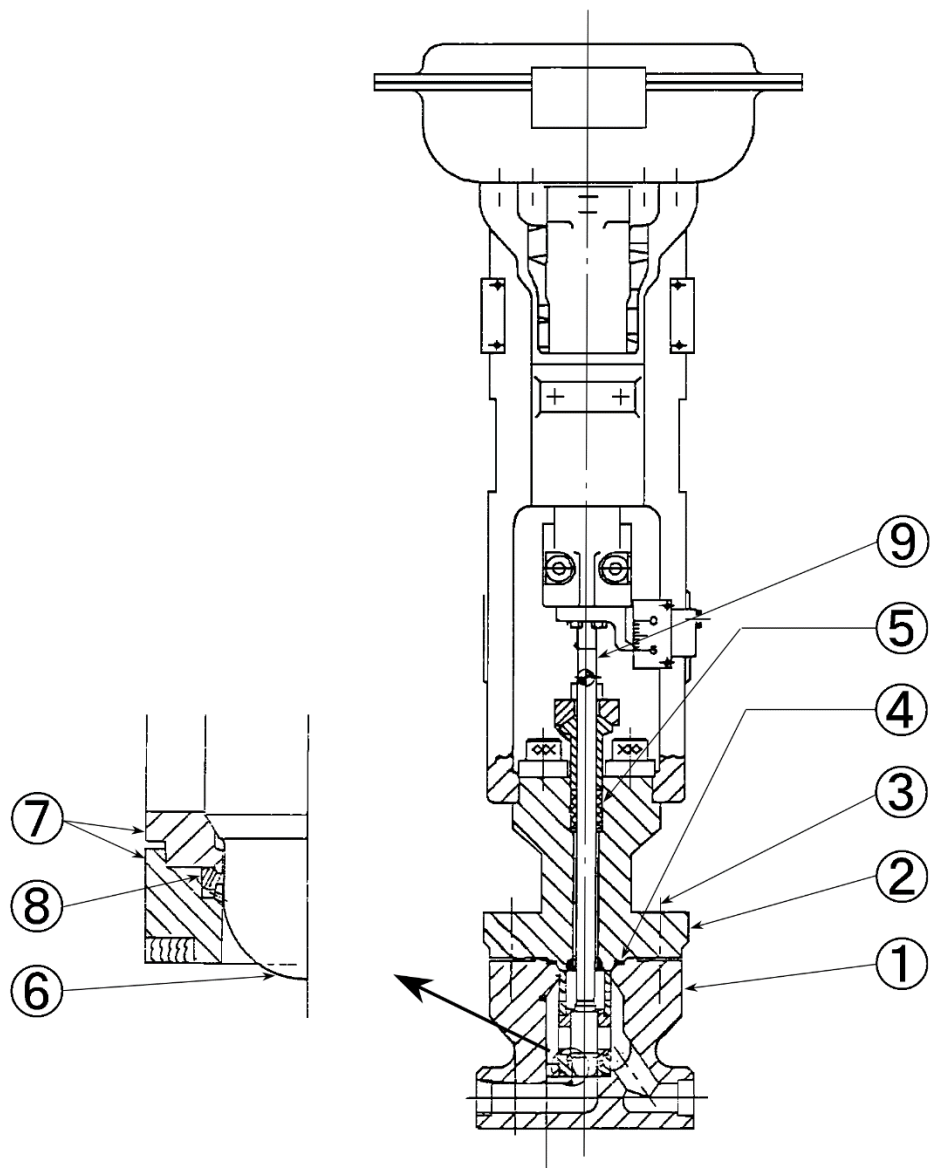
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座、ソフトシート）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱及び弁蓋には炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、窒素ガスに接している。

泊2号炉の蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁の構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁の使用材料及び使用条件を表2.1-13及び表2.1-14に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	ソフトシート
⑨	弁棒 (弁体と一体)

図2.1-7 泊2号炉 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁構造図

表2.1-13 泊2号炉 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼
ソフトシート	消耗品・定期取替品
弁棒 (弁体と一体)	ステンレス鋼

表2.1-14 泊2号炉 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	窒素ガス

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

玉形弁の機能である流体の仕切及び流量調節機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

玉形弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

なお、◆は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象には該当しないが、耐震安全性評価を実施するために本項に記載する。

(1) 弁箱の疲労割れ（◆） [抽出ライン止め弁]

抽出ライン止め弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は弁の開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 弁箱等の応力腐食割れ [低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁]

ステンレス鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座及び弁棒は、内部流体の塩化物イオン濃度が高い廃液により、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認及び漏えい確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 弁箱及び弁蓋の外側からの腐食（全面腐食） [主蒸気逃がし弁、蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁]

炭素鋼又は低合金鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は、外側からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） [主蒸気逃がし弁]

低合金鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は、内部流体（蒸気）による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 弁棒の応力腐食割れ [共通]

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒の亀裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、泊2号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、空気作動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

(8) 弁箱等の腐食（全面腐食） [蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁]

炭素鋼の弁箱及び弁蓋は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は窒素ガスであり、腐食が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

(9) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁，主蒸気逃がし弁，蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁]

低合金鋼の弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により有意な腐食がないことを確認し、締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(10) ばねの変形（応力緩和）〔加圧器水位計上部元弁〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、通常、全開状態で使用されている弁であり、ばねにはほとんど荷重は加わっていない環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケット、パッキン、ダイヤフラム及びソフトシートは、分解点検時に取替える消耗品であり、ベローズは分解点検時の目視確認等の結果に基づき取替える消耗品であり、原子炉補機冷却海水系統の銅合金弁（原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁）は定期取替品でありいずれも長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/7) 泊2号炉 抽出ライン止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼			○◆				◆：冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されないが、耐震安全性評価のために評価する *1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		耐熱鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
	ベローズ	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/7) 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置濃縮液循環弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼				△			*1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼				△				
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
	ベローズ	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△			△				
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△			△				
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/7) 泊2号炉 加圧器水位計上部元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱（弁座と一体）		ステンレス鋼（ステライト肉盛）	△							*1：隙間腐食
	弁蓋		ステンレス鋼								*2：変形（応力緩和）
	ダイヤフラム	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼（ステライト肉盛）	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				
	ばね		ステンレス鋼							△*2	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/7) 泊2号炉 加圧器逃がしタンク自動ガス分析ラインC/V内側隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱（弁座と一体）		ステンレス鋼 （ステライト肉盛）	△							*1：隙間腐食
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		耐熱鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
	ベローズ	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/7) 泊2号炉 原子炉補機冷却海水供給母管圧力計元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱（弁座と一体）	◎	—								
	弁蓋	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体	◎	—								
	弁棒	◎	—								

表2.2-1(6/7) 泊2号炉 主蒸気逃がし弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		低合金鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1：流れ加速型腐食 *2：全面腐食（外面） *3：隙間腐食	
	弁蓋		低合金鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*3}		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(7/7) 泊2号炉 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V外側隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼		△					*1：隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼	△							
	ソフトシート	◎	—								
	弁棒 (弁体と一体)		ステンレス鋼	△	△*1		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 弁箱の疲労割れ（◆）〔抽出ライン止め弁〕

a. 事象の説明

抽出ライン止め弁は、プラントの起動・停止時等による熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

抽出ライン止め弁の高応力部位を対象とした健全性評価を以下に示す要領にて実施した。評価対象部位を図2.3-1に示す。

応力については、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

劣化が進展すると仮定した場合における運転開始後60年時点の疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、当該条件は冷温停止状態を前提とした運転開始後30年時点における評価条件を包含している。

それぞれの評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時の目視確認により状態を確認し、異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

なお、本事象については冷温停止状態では進展することがないことから、更に問題となる可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

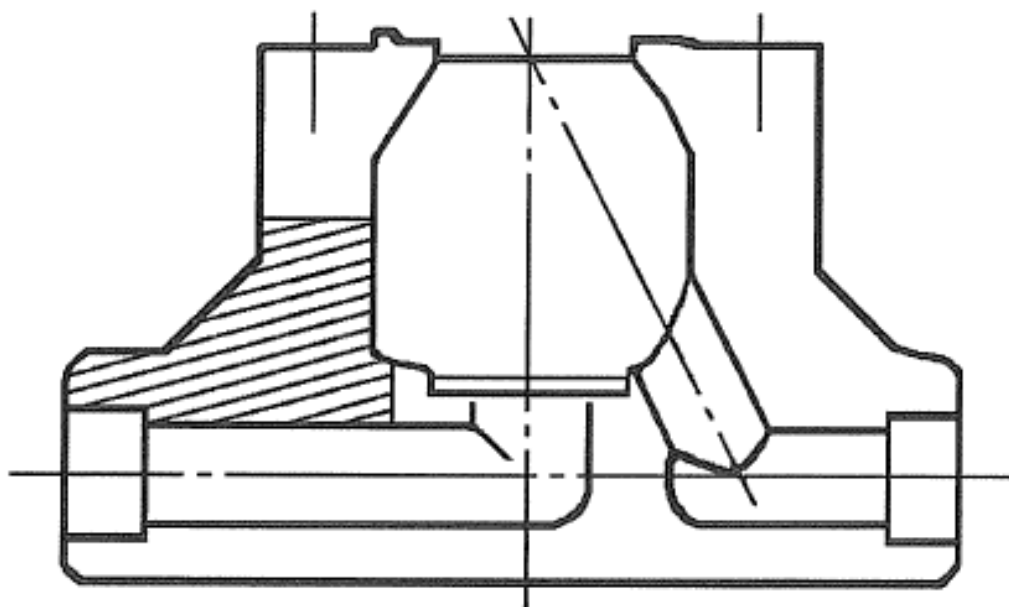


図2.3-1 泊2号炉 抽出ライン止め弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 泊2号炉 抽出ライン止め弁の評価用過渡条件

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	28	67
停止(温度下降率55.6°C/h)	28	67
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	224	724
負荷減少(負荷減少率5%/min)	216	716
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	17	60
0%から15%への負荷上昇	28	63
15%から0%への負荷減少	20	59
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停止	0	1
II) 起動	0	1
抽出ライン隔離及び復帰	0	4
充てんライン隔離及び復帰 (保守)	0	1

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	1
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	1
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	1
1次冷却系の異常な減圧	0	1
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	0	1
タービン回転試験	5	5
1次系漏えい試験	21	56
充てんライン隔離及び復帰 (S I時)	0	3

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 泊2号炉 抽出ライン止め弁の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値: 1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼)	0.025	0.344

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 弁箱の疲労割れ（◆） [1次冷却系統及び化学体積制御系統の弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける抽出ライン止め弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値を満足する結果が得られており、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は弁の開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 ヨークの腐食（全面腐食） [炭素鋼，炭素鋼鋳鋼又は鋳鉄のヨークのある弁]

ヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 弁箱等の応力腐食割れ [液体廃棄物処理系統の弁]

ステンレス鋼又はステンレス鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座及び弁棒は、内部流体の塩化物イオン濃度が高い廃液により、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認及び漏えい確認等により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 弁箱及び弁蓋の外表面からの腐食（全面腐食） [炭素鋼，炭素鋼鋳鋼，低合金鋼，低合金鋼鋳鋼又は鋳鉄の弁箱及び弁蓋のある弁]

弁箱及び弁蓋は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） [主蒸気系統，蒸気発生器ブローダウン系統及び補助蒸気系統の弁]

炭素鋼，炭素鋼鋳鋼，低合金鋼又は低合金鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋及び弁座は，内部流体（蒸気又は高速の水）による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認等により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 弁体及び弁座の腐食（エロージョン） [中間開度で使用している弁]

中間開度で使用している弁体及び弁座は，エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認等により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 弁箱等の腐食（全面腐食）〔蒸気発生器ブローダウン系統，ディーゼル発電機設備，補助蒸気系統及び消火系統の弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁体及び弁座は，内部流体の飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水による腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認等により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.10 弁棒の応力腐食割れ〔共通〕

1989年3月，川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒の亀裂損傷が発生しているが，弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら，泊2号炉においては，手動弁は開弁時バックシートを効かせず，空気作動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.2.11 弁箱等の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水系統，化学体積制御系統，ディーゼル発電機設備，所内用空気系統，制御用空気系統，換気空調系統及び余熱除去系統の弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁体及び弁座は，内部流体による腐食が想定される。

しかしながら，内部流体は窒素ガス，油，希ガス等，空気又はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.2.12 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトのある弁〕

弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により有意な腐食がないことを確認し、締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.13 ばねの変形（応力緩和）〔ばねのある弁〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、通常、全開状態で使用されている弁であり、ばねにはほとんど荷重は加わっていない環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

1.3 バタフライ弁

[対象機器]

- ① 余熱除去系統バタフライ弁
- ② 使用済燃料ピット水浄化冷却系統バタフライ弁
- ③ 原子炉補機冷却水系統バタフライ弁
- ④ 液体廃棄物処理系統バタフライ弁
- ⑤ 原子炉補機冷却海水系統バタフライ弁
- ⑥ 換気空調系統バタフライ弁
- ⑦ 原子炉格納容器真空逃がし系統バタフライ弁
- ⑧ ディーゼル発電機設備バタフライ弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	15
3. 代表機器以外への展開	24
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	24

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊2号炉で使用されているバタフライ弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのバタフライ弁を設置場所、材料及び内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すバタフライ弁について、設置場所、材料及び内部流体を分離基準として考えると、合計4つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：1次冷却材

このグループには、余熱除去系統及び使用済燃料ピット水浄化冷却系統のバタフライ弁が属するが、重要度が高い余熱除去冷却器出口流量調節弁を代表機器とする。

- (2) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：廃液

このグループには、液体廃棄物処理系統のバタフライ弁のみが属することから、低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁を代表機器とする。

- (3) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：海水

このグループには、原子炉補機冷却海水系統及びディーゼル発電機設備のバタフライ弁が属するが、口径の大きい原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁を代表機器とする。

- (4) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：空気又はヒドラジン水

このグループには、換気空調系統、原子炉格納容器真空逃がし系統及び原子炉補機冷却水系統のバタフライ弁が属するが、最高使用温度及び最高使用圧力が高い格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁を代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 バタフライ弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
			最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)							
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	4	余熱除去系統	6~8	MS-1, PS-2	約4.5	約200	◎	余熱除去冷却器出口流量調節弁 (8B)	重要度
			2	使用済燃料ピット水浄化冷却系統	8	MS-2	約1.0	約95			
		廃液	1	液体廃棄物処理系統	6	高*2	約1.0	約150	◎	低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁 (6B)	
	炭素鋼	海水	28	原子炉補機冷却海水系統	6~24	MS-1	約0.7	約50	◎	原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁 (24B)	口径
			8	ディーゼル発電機設備	5~6	MS-1	約0.7	約50			
		空気	29	換気空調系統	3~40	MS-1	約0.8	約129	◎	格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁 (3B)	最高使用温度 最高使用圧力
			3	原子炉格納容器真空逃がし系統	12	MS-1	約0.3	約129			
		ヒドラジン水	4	原子炉補機冷却水系統	12	MS-1	約1.4	約95			
	2		換気空調系統	4	MS-1	約1.0	約45				

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の4種類のバタフライ弁について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去冷却器出口流量調節弁
- ② 低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁
- ③ 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁
- ④ 格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 余熱除去冷却器出口流量調節弁

(1) 構造

泊2号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁は、空気作動バタフライ弁であり、余熱除去系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱及び弁体はステンレス鋼鋳鋼、弁蓋はステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

泊2号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁棒
⑧	ブッシュ

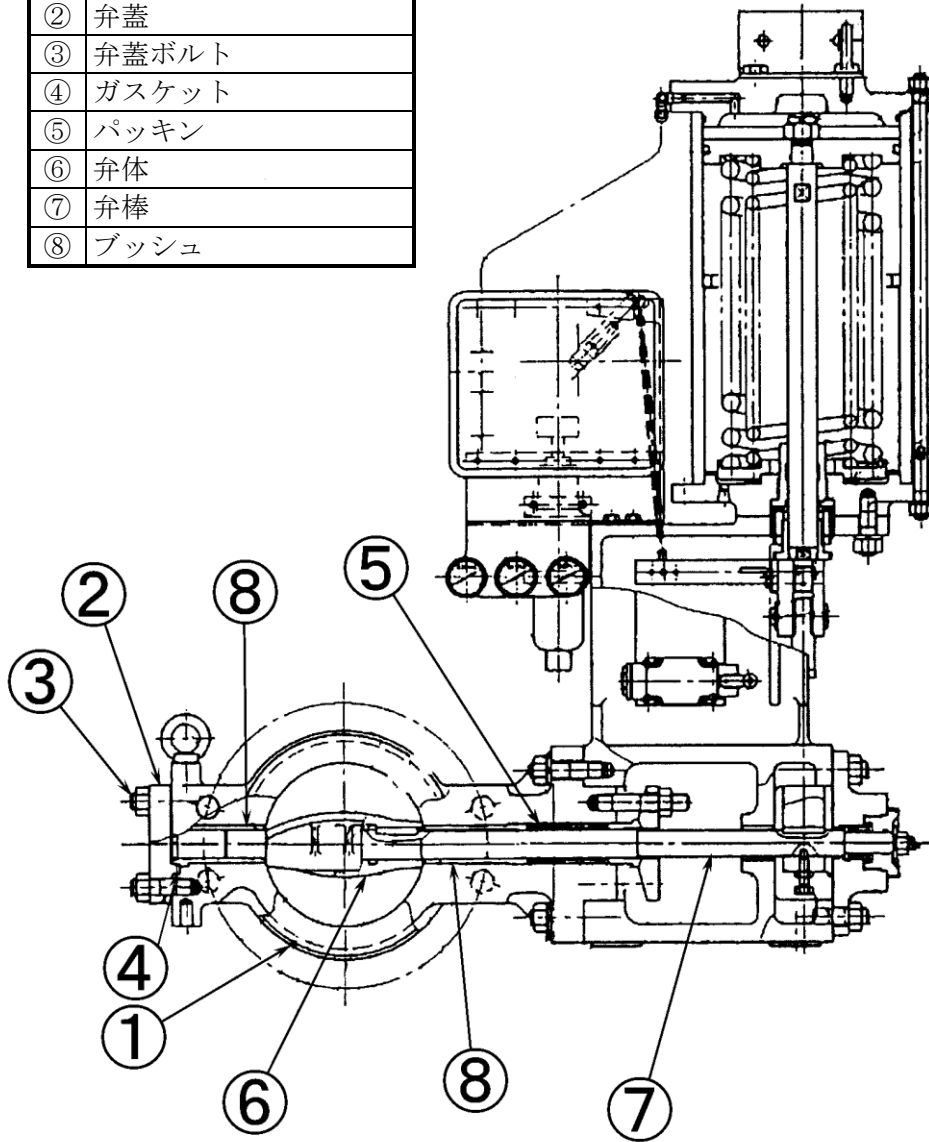


図2.1-1 泊2号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁構造図

表2.1-1 泊2号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-2 泊2号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁の使用条件

最高使用圧力	約4.5MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁

(1) 構造

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁は、手動バタフライ弁であり、液体廃棄物処理系統に設置されている。

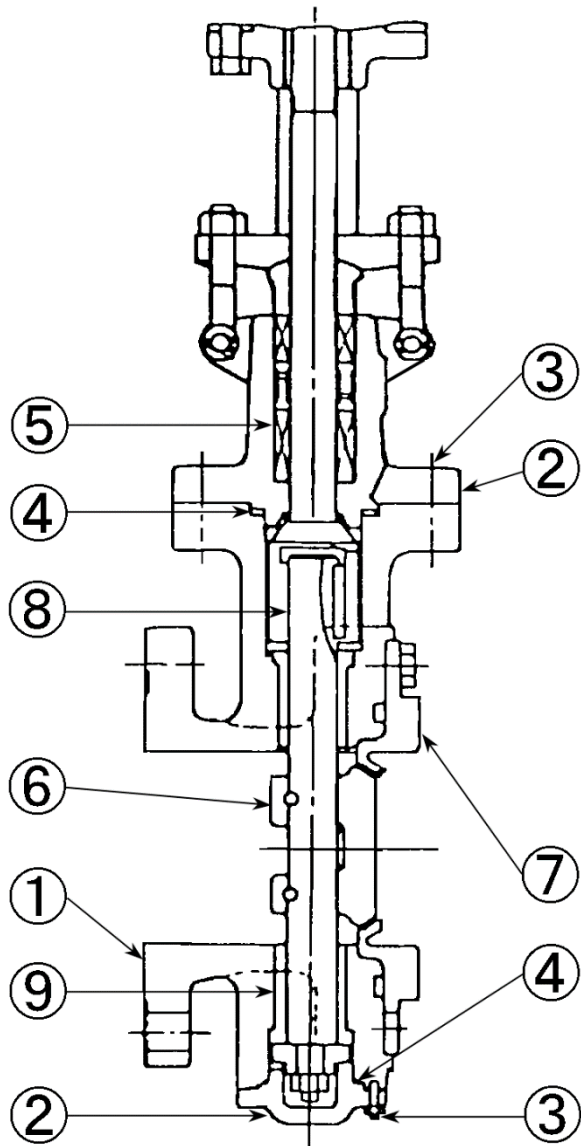
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱及び弁体はステンレス鋼 casting，弁蓋はステンレス鋼 casting及びステンレス鋼を使用しており、廃液に接液している。

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	軸受

図2.1-2 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁構造図

表2.1-3 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼 ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
軸受	消耗品・定期取替品

表2.1-4 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	廃液

2.1.3 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁

(1) 構造

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁は、手動バタフライ弁であり、原子炉補機冷却海水系統に設置されている。

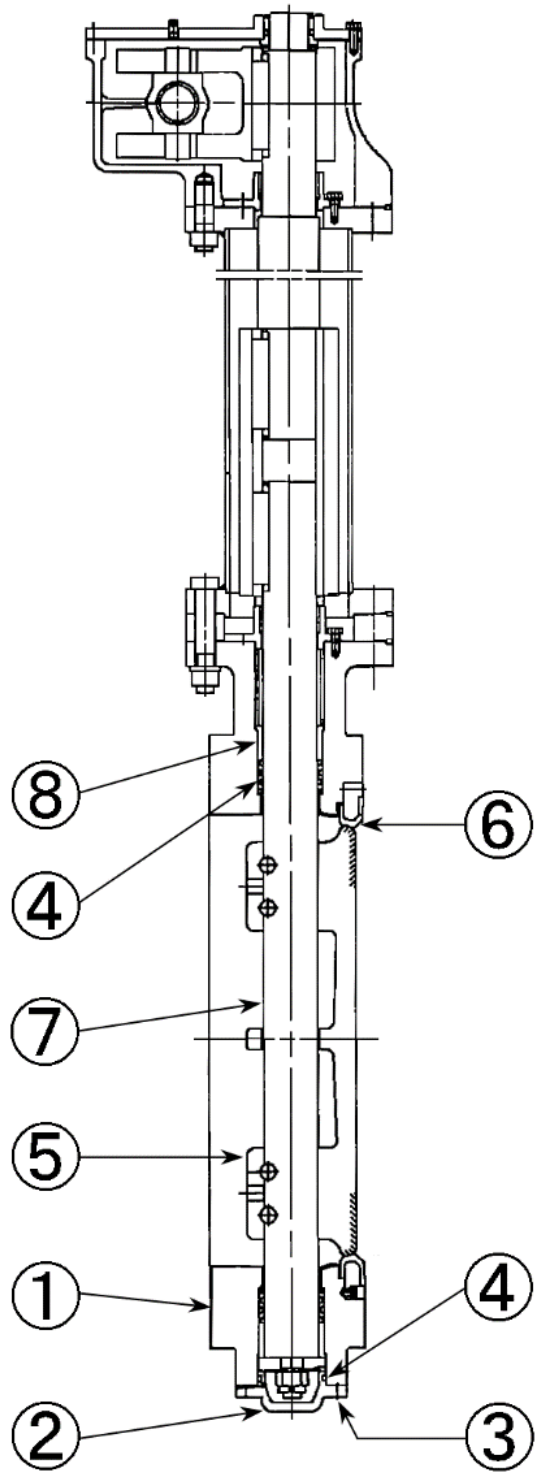
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、Oリング）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁体にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、海水に接液している。

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	Ｏリング
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	軸受

図2.1-3 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁構造図

表2.1-5 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼（内面ライニング）
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
Oリング	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼（セラミック溶射）
弁座	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
軸受	消耗品・定期取替品

表2.1-6 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.4 格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁

(1) 構造

泊2号炉の格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁は、空気作動バタフライ弁であり、換気空調系統に設置されている。

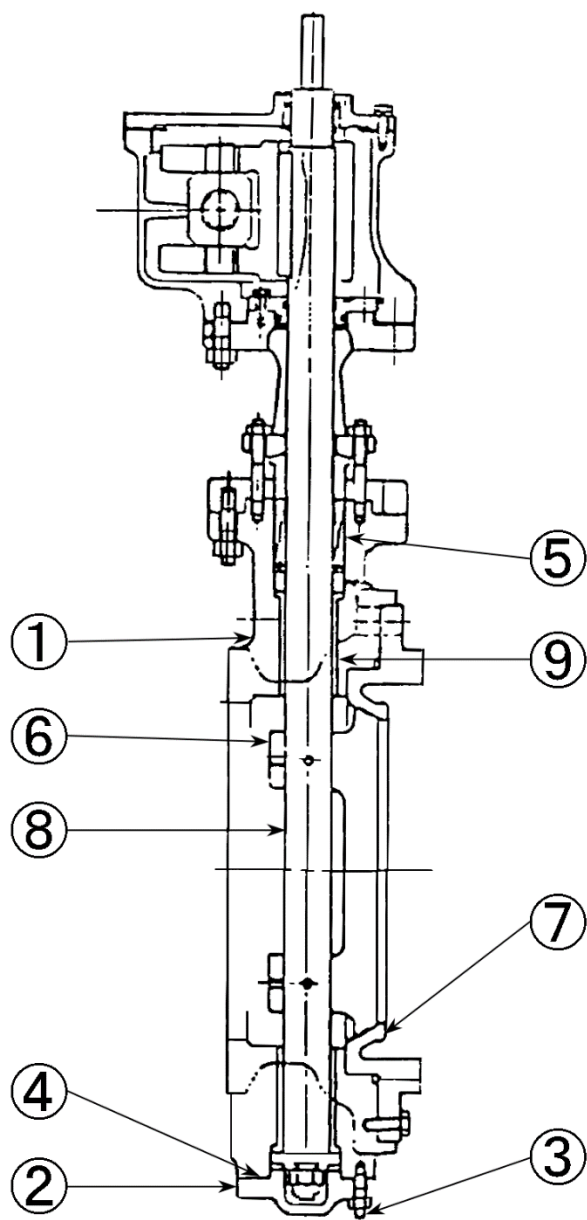
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱及び弁体には炭素鋼鋳鋼、弁蓋には炭素鋼を使用しており、空気に接している。

泊2号炉の格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	軸受

図2.1-4 泊2号炉 格納容器水素パーージ給気ラインC/V外側隔離弁構造図

表2.1-7 泊2号炉 格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
軸受	消耗品・定期取替品

表2.1-8 泊2号炉 格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約0.8MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	空気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

バタフライ弁の機能である流体の仕切及び流量調節機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

バタフライ弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

- (1) 弁体及び弁座シート面の摩耗 [余熱除去冷却器出口流量調節弁, 低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁, 格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁]
弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (2) 弁体及び弁座の腐食（エロージョン） [余熱除去冷却器出口流量調節弁]

中間開度で使用している弁の弁体及び弁座は、エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 弁棒（パッキン，Ｏリング及び軸保持部）の摩耗〔共通〕

弁棒は弁の開閉に伴うパッキン，Ｏリング及び軸保持部との摺動により，摩耗が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 弁棒の腐食（隙間腐食）〔共通〕

弁棒はパッキン及びＯリングとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 弁箱等の応力腐食割れ〔低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁〕

ステンレス鋼又はステンレス鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁座，弁体及び弁棒は，内部流体の塩化物イオン濃度が高い廃液により，応力腐食割れが想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認及び漏えい確認により，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁，格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は，外面からの腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修をすることにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (7) 弁箱の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱は、海水が接するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水に接した場合、腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (8) 弁棒等の腐食（孔食・隙間腐食）〔原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁〕

ステンレス鋼又はステンレス鋼鋳鋼の弁棒及び弁体は、内部流体の海水により孔食・隙間腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (9) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトは、ガスケット又はOリングからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により有意な腐食がないことを確認し、締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (10) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体及び弁座は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は空気であり、腐食が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケット、パッキン及びOリングは分解点検時に取替える消耗品であり、ブッシュ、軸受、及び弁座（ゴム製）は分解点検時の目視確認等の結果に基づき取替える消耗品でありいずれも長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/4) 泊2号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱（弁座と一体）		ステンレス鋼（ステライト肉盛）	△	△*1					*1：エロージョン *2：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼（ステライト肉盛）	△	△*1						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*2						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/4) 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼				△			*1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼 ステンレス鋼				△				
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△			△				
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△			△				
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				
	軸受	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1(3/4) 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼 (内面ライニング)		△					*1：孔食・隙間腐食 *2：隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△						
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	Oリング	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼 (セラミック溶射)		△*1						
	弁座	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1,2						
	軸受	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 泊2号炉 格納容器水素パージ給気ラインC/V外側隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△					*1：隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1						
	軸受	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 弁体及び弁座シート面の摩耗 [金属シートタッチの弁]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、必要に応じてシート面手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 弁体及び弁座の腐食（エロージョン） [中間開度で使用している弁]

中間開度で使用している弁の弁体及び弁座は、エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 弁棒（パッキン、Oリング及び軸保持部）の摩耗 [共通]

弁棒は弁の開閉に伴うパッキン、Oリング及び軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 弁棒の腐食（隙間腐食）〔共通〕

弁棒はパッキン及びOリングとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.5 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔炭素鋼，炭素鋼鋳鋼，低合金鋼，低合金鋼鋳鋼又は鋳鉄の弁箱及び弁蓋のある弁〕

弁箱及び弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.6 弁箱の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔原子炉補機冷却海水系統及びディーゼル発電機設備の弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱は、海水が接するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水に接した場合、腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.7 弁棒等の腐食（孔食・隙間腐食）〔原子炉補機冷却海水系統及びディーゼル発電機設備の弁〕

内部流体が海水であるステンレス鋼又はステンレス鋼鋳鋼の弁棒及び弁体の接液部は、海水による孔食・隙間腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.8 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトのある弁〕

弁蓋ボルトは、ガスケット又はOリングからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により有意な腐食がないことを確認し、締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.9 弁箱等の腐食（全面腐食）〔換気空調系統、原子炉格納容器真空逃がし系統及び原子炉補機冷却水系統の弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体及び弁座は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は空気又はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、腐食が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

1.4 ダイヤフラム弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統ダイヤフラム弁
- ② 化学体積制御系統ダイヤフラム弁
- ③ 使用済燃料ピット水浄化冷却系統ダイヤフラム弁
- ④ 燃料取替用水系統ダイヤフラム弁
- ⑤ 1次系試料採取系統ダイヤフラム弁
- ⑥ 原子炉補給水系統ダイヤフラム弁
- ⑦ 気体廃棄物処理系統ダイヤフラム弁
- ⑧ 液体廃棄物処理系統ダイヤフラム弁
- ⑨ 原子炉補機冷却海水系統ダイヤフラム弁
- ⑩ ディーゼル発電機設備ダイヤフラム弁
- ⑪ 炉内中性子束監視装置ダイヤフラム弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	15
3. 代表機器以外への展開	23
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	23

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されているダイヤフラム弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのダイヤフラム弁を設置場所、材料及び内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すダイヤフラム弁について、設置場所、材料及び内部流体を分離基準として考えると、合計 4 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：1 次冷却材又は純水

このグループには、液体廃棄物処理系統、化学体積制御系統、燃料取替用水系統、使用済燃料ピット水浄化冷却系統、1 次系試料採取系統、1 次冷却系統及び原子炉補給水系統のダイヤフラム弁が属するが、重要度、最高使用温度及び最高使用圧力が高く、口径の大きい格納容器冷却材ドレンポンプ出口 C/V 内側隔離弁を代表機器とする。

- (2) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：空気，希ガス等又は炭酸ガス

このグループには、1 次系試料採取系統、液体廃棄物処理系統及び炉内中性子束監視装置のダイヤフラム弁が属するが、口径の大きい格納容器空気サンプル取出し C/V 内側隔離弁を代表機器とする。

- (3) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：海水

このグループには、原子炉補機冷却海水系統及びディーゼル発電機設備のダイヤフラム弁が属するが、口径の大きい原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁を代表機器とする。

- (4) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：窒素ガス又は希ガス等

このグループには、液体廃棄物処理系統、1 次冷却系統及び気体廃棄物処理系統のダイヤフラム弁が属するが、重要度が高く、口径の大きい格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給 C/V 隔離弁を代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 ダイアフラム弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定						
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由				
							最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)							
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	4	液体廃棄物処理系統	1・1/2~3	MS-1	約1.4	約129	◎	格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁 (3B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力 口径				
			41	化学体積制御系統	3/4~3	MS-1, PS-2, MS-2, 高*2	約2.1	約 95							
			6	燃料取替用水系統	3~4	MS-1, MS-2	約1.0	約129							
			2	使用済燃料ピット水浄化冷却系統	2	MS-2	約1.0	約 95							
			2	1次系試料採取系統	3/4	高*2	約2.1	約 95							
		純水	1	1次冷却系統	2	MS-1	約1.4	約129							
			1	原子炉補給水系統	2	MS-1	約1.0	約129							
			9	化学体積制御系統	1/2	MS-1	約0.1	約 95							
			空気	3	1次系試料採取系統	1	MS-1	約0.3				約129	◎	格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁 (1B)	口径
				希ガス等	2	液体廃棄物処理系統	3/4	MS-1				約0.3			
	炭酸ガス	2		炉内中性子束監視装置	3/4	MS-1	約0.3	約129							
	炭素鋼	海水	28	原子炉補機冷却海水系統	1~2	MS-1	約0.7	約 50	◎	原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁 (2B)	口径				
			2	ディーゼル発電機設備	1・1/2	MS-1	約0.7	約 50							
		窒素ガス	3	液体廃棄物処理系統	2	MS-1	約1.0	約129	◎	格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁 (2B)	重要度 口径				
			1	1次冷却系統	3/4	MS-1	約1.0	約129							
		希ガス等	16	気体廃棄物処理系統	3/4~2	PS-2	約1.4	約 95							

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の4種類のダイヤフラム弁について技術評価を実施する。

- ① 格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁
- ② 格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁
- ③ 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁
- ④ 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁

(1) 構造

泊2号炉の格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁は, 空気作動ダイヤフラム弁であり, 液体廃棄物処理系統に設置されている。

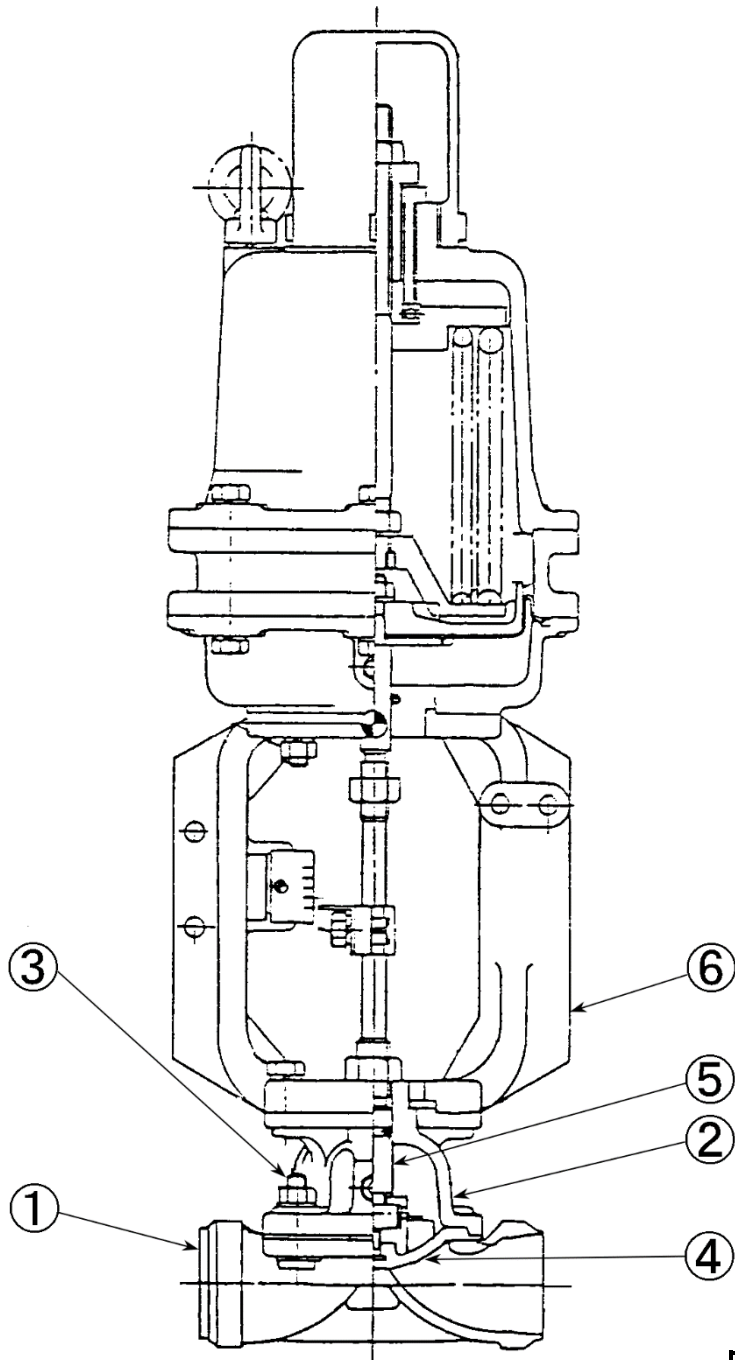
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部(弁箱, 弁蓋, 弁蓋ボルト), 流体を仕切る隔離部(弁体:ダイヤフラム)及び弁体を作動させる作動部(弁棒)からなる。

弁箱はステンレス鋼鋳鋼を使用しており, 1次冷却材に接液している。

泊2号炉の格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒
⑥	ヨーク

図2. 1-1 泊2号炉 格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁構造図

表2.1-1 泊2号炉 格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	鋳鉄

表2.1-2 泊2号炉 格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁

(1) 構造

泊2号炉の格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁は、空気作動ダイヤフラム弁であり、1次系試料採取系統に設置されている。

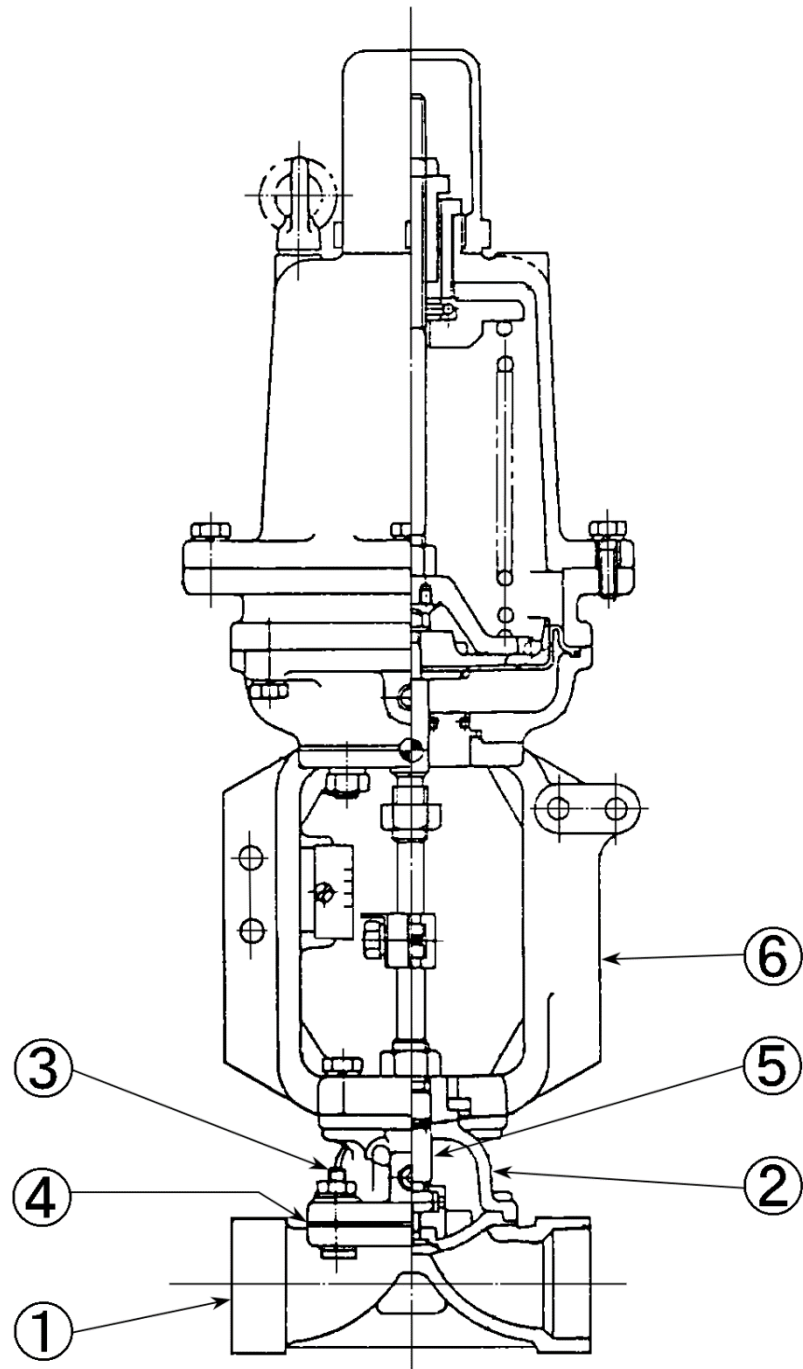
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、空気に接している。

泊2号炉の格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒
⑥	ヨーク

図2.1-2 泊2号炉 格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁構造図

表2.1-3 泊2号炉 格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁
 主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	鋳鉄

表2.1-4 泊2号炉 格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約0.3MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	空気

2.1.3 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁

(1) 構造

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁は、手動ダイヤフラム弁であり、原子炉補機冷却海水系統に設置されている。

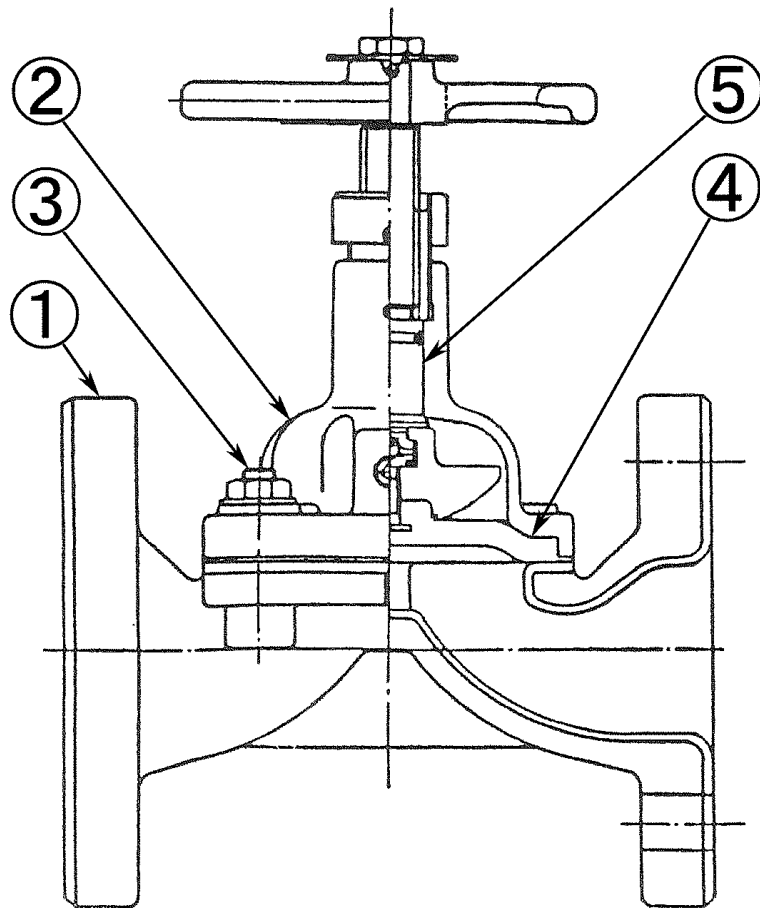
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱は鋳鉄を使用しており、海水に接液している。

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒

図2.1-3 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁構造図

表2.1-5 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	鋳鉄（内面ライニング）
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-6 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.4 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁

(1) 構造

泊2号炉の格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁は、空気作動ダイヤフラム弁であり、液体廃棄物処理系統に設置されている。

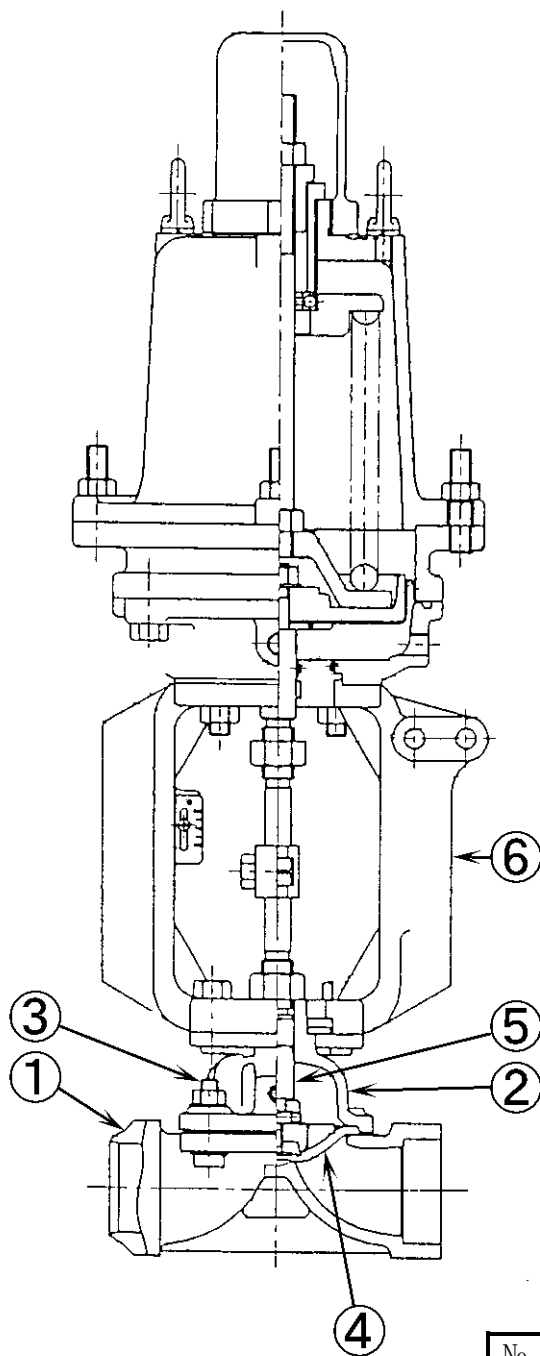
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）及び弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱は炭素鋼鋳鋼を使用しており、窒素ガスに接している。

泊2号炉の格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒
⑥	ヨーク

図2.1-4 泊2号炉 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁構造図

表2.1-7 泊2号炉 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	鋳鉄

表2.1-8 泊2号炉 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	窒素ガス

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ダイヤフラム弁の機能である流体の仕切機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ダイヤフラム弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は弁の開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) ヨークの腐食（全面腐食） [格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁、格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁、格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁]

鋳鉄のヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) 弁箱の外面からの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁，格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁〕

鋳鉄又は炭素鋼鋳鋼の弁箱は，外面からの腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 弁箱の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁〕

鋳鉄の弁箱は，海水が接するためライニングを施工しているが，ライニングのはく離等により海水に接した場合，腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (5) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

低合金鋼の弁蓋ボルトは，ダイヤフラムからの漏えいにより，内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により有意な腐食がないことを確認し，締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (6) 弁箱の腐食（全面腐食）〔格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁〕
炭素鋼鋳鋼の弁箱は，内部流体による腐食が想定される。

しかしながら，内部流体は窒素ガスであり，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ダイヤフラムは分解点検時に取替える消耗品であり，長期使用はせず取替を前提としていることから，高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/4) 泊2号炉 格納容器冷却材ドレンポンプ出口C/V内側隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ヨーク		鋳鉄		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/4) 泊2号炉 格納容器空気サンプル取出しC/V内側隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ヨーク		鋳鉄		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/4) 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		鋳鉄 (内面ライニング)		△						
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 泊2号炉 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給C/V隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△						
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ヨーク		鋳鉄		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は弁の開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 ヨークの腐食（全面腐食） [炭素鋼，炭素鋼鋳鋼又は鋳鉄のヨークのある弁]

ヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- 3.1.3 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔炭素鋼，炭素鋼鋳鋼，低合金鋼，低合金鋼鋳鋼又は鋳鉄の弁箱及び弁蓋のある弁〕
弁箱及び弁蓋は，外面からの腐食が想定される。
しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。
また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- 3.1.4 弁箱の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔原子炉補機冷却海水系統及びディーゼル発電機設備の弁〕
鋳鉄の弁箱は，海水が接するためライニングを施工しているが，ライニングのはく離等により海水に接した場合，腐食が想定される。
しかしながら，分解点検時の目視確認等により状態を確認し，機器の健全性を維持している。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- 3.1.5 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトのある弁〕
弁蓋ボルトは，ダイヤフラムからの漏えいにより，内部流体によるボルトの腐食が想定される。
しかしながら，分解点検時の目視確認等により有意な腐食がないことを確認し，締付管理により漏えい防止を図っている。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- 3.1.6 弁箱の腐食（全面腐食）〔液体廃棄物処理系統，1次冷却系統及び気体廃棄物処理系統の弁〕
炭素鋼鋳鋼の弁箱は，内部流体による腐食が想定される。
しかしながら，内部流体は窒素ガス又は希ガス等であり，腐食が発生しがたい環境にある。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお，分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

1.5 スイング逆止弁

[対象機器]

- ① 化学体積制御系統スイング逆止弁
- ② 安全注入系統スイング逆止弁
- ③ 余熱除去系統スイング逆止弁
- ④ 原子炉格納容器スプレイ系統スイング逆止弁
- ⑤ 使用済燃料ピット水浄化冷却系統スイング逆止弁
- ⑥ 燃料取替用水系統スイング逆止弁
- ⑦ 主蒸気系統スイング逆止弁
- ⑧ 原子炉補機冷却水系統スイング逆止弁
- ⑨ 制御用空気系統スイング逆止弁
- ⑩ 原子炉補機冷却海水系統スイング逆止弁
- ⑪ 補助蒸気系統スイング逆止弁
- ⑫ 換気空調系統スイング逆止弁
- ⑬ 原子炉格納容器真空逃がし系統スイング逆止弁
- ⑭ ディーゼル発電機設備スイング逆止弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	5
2.1 構造, 材料及び使用条件	5
2.2 経年劣化事象の抽出	23
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	34
3. 代表機器以外への展開	38
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	38
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	39

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されているスイング逆止弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのスイング逆止弁を設置場所、材料及び内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すスイング逆止弁について、設置場所、材料及び内部流体を分離基準として考えると、合計 6 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：1 次冷却材

このグループには、安全注入系統、余熱除去系統、原子炉格納容器スプレイ系統、化学体積制御系統、使用済燃料ピット水浄化冷却系統及び燃料取替用水系統のスイング逆止弁が属するが、重要度、最高使用温度及び最高使用圧力が高く、口径の大きい蓄圧タンク出口第 2 逆止弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋外，材料：ステンレス鋼，内部流体：油

このグループには、ディーゼル発電機設備のスイング逆止弁のみが属することから、燃料油貯油そう出口逆止弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内，材料：銅合金，内部流体：海水

このグループには、原子炉補機冷却海水系統のスイング逆止弁のみが属することから、原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：蒸気又は純水

このグループには、主蒸気系統、補助蒸気系統及びディーゼル発電機設備のスイング逆止弁が属するが、重要度及び最高使用温度が高い主蒸気隔離弁を代表機器とする。

(5) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：ヒドラジン水，油又は空気

このグループには、原子炉補機冷却水系統、換気空調系統、ディーゼル発電機設備、原子炉格納容器真空逃がし系統及び制御用空気系統のスイング逆止弁が属するが、重要度、最高使用温度及び最高使用圧力が高い 1 次冷却材ポンプ補機冷却水入口 C/V 内側隔離逆止弁を代表機器とする。

(6) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：海水

このグループには，原子炉補機冷却海水系統のスイング逆止弁のみが属することから，原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁を代表機器とする。

表1-1(1/2) 泊2号炉 スイング逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	14	安全注入系統	3~10	PS-1, MS-1	約17.2	約343	◎	蓄圧タンク出口第2逆止弁 (10B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力 口径
			8	余熱除去系統	6~18	PS-1, MS-1	約17.2	約343			
			2	原子炉格納容器スプレイ系統	10	MS-1	約 2.7	約150			
			2	化学体積制御系統	4	MS-1	約 1.0	約 95			
			1	使用済燃料ピット水浄化冷却系統	3	MS-2	約 1.0	約 95			
			2	燃料取替用水系統	3	MS-2	約 1.0	約 95			
屋外		油	4	ディーゼル発電機設備	3	MS-1	大気圧	約 50	◎	燃料油貯油そう出口逆止弁 (3B)	
屋内	銅合金	海水	14	原子炉補機冷却海水系統	3/4~2	MS-1	約 0.7	約 50	◎	原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁 (2B)	

*1：機能は最上位の機能を示す。

表1-1(2/2) 泊2号炉 スイング逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定								
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由						
							最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)									
屋内	炭素鋼	蒸気	2	主蒸気系統	28	MS-1	約7.5	約291	◎	主蒸気隔離弁(28B)	重要度 最高使用温度						
			1	補助蒸気系統	8	高*2	約1.2	約195									
		純水	2	ディーゼル発電機設備	5	MS-1	約0.5	約90	◎	1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁(4B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力						
			5	補助蒸気系統	3~6	高*2	約0.9	約185									
		ヒドラジン水	8	原子炉補機冷却水系統	3~14	MS-1	約1.4	約129				◎	1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁(4B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力			
			4	換気空調系統	4	MS-1	約1.0	約45									
		油	4	ディーゼル発電機設備	6	MS-1	約0.8	約80				◎	原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁(20B)				
			空気	3	原子炉格納容器真空逃がし系統	12	MS-1	約0.3							約129		
		海水		2	制御用空気系統	6	MS-1	約0.8							約50	◎	原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁(20B)
			4	原子炉補機冷却海水系統	20	MS-1	約0.7	約50									

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の6種類のスイング逆止弁について技術評価を実施する。

- ① 蓄圧タンク出口第2逆止弁
- ② 燃料油貯油そう出口逆止弁
- ③ 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁
- ④ 主蒸気隔離弁
- ⑤ 1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁
- ⑥ 原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁

2.1 構造，材料及び使用条件

2.1.1 蓄圧タンク出口第2逆止弁

(1) 構造

泊2号炉の蓄圧タンク出口第2逆止弁は，安全注入系統に設置されている。

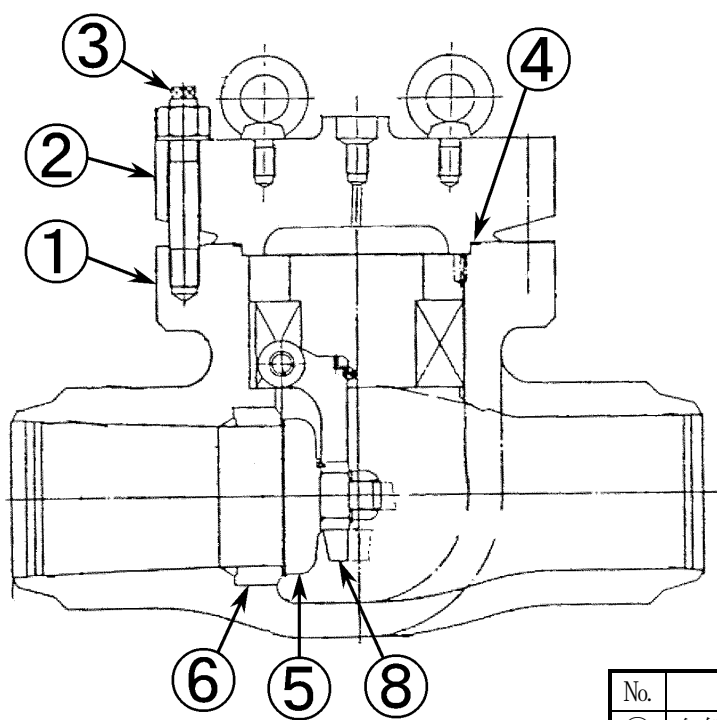
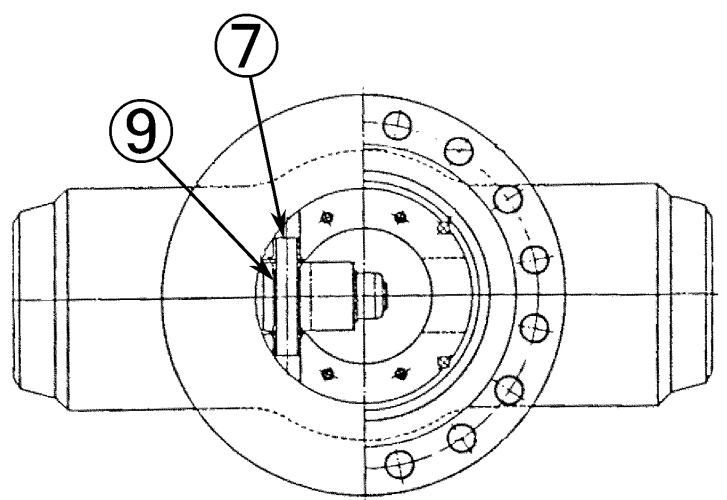
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱，弁蓋，弁蓋ボルト，ガスケット），流体を仕切る隔離部（弁体，弁座）及び弁体を支持し作動させる作動部（弁棒，アーム）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼，弁蓋及び弁体にはステンレス鋼を使用しており，1次冷却材に接液している。

泊2号炉の蓄圧タンク出口第2逆止弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の蓄圧タンク出口第2逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	アーム
⑨	ブッシュ

図2.1-1 泊2号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁構造図

表2.1-1 泊2号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
アーム	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-2 泊2号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 燃料油貯油そう出口逆止弁

(1) 構造

泊2号炉の燃料油貯油そう出口逆止弁は、ディーゼル発電機設備に設置されている。

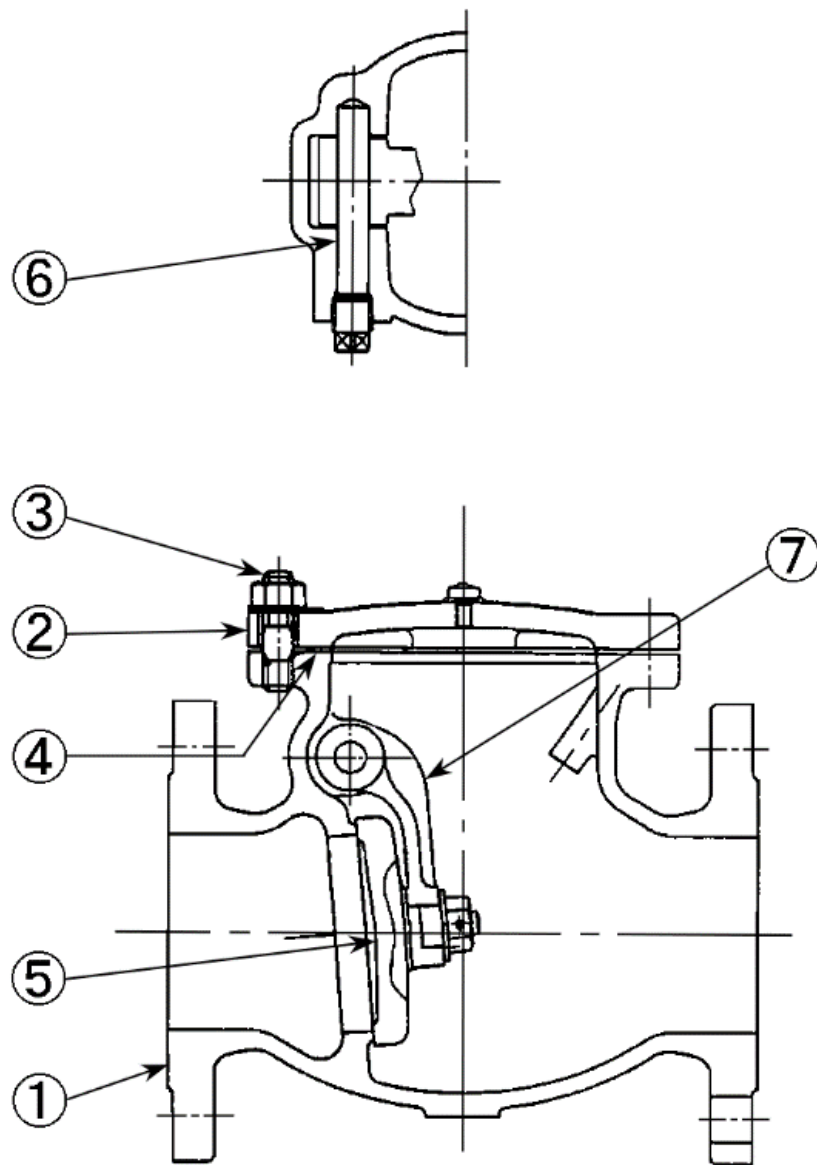
本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱、弁蓋及び弁体にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、油に接液している。

泊2号炉の燃料油貯油そう出口逆止弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の燃料油貯油そう出口逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁棒
⑦	アーム

図2.1-2 泊2号炉 燃料油貯油そう出口逆止弁構造図

表2.1-3 泊2号炉 燃料油貯油そう出口逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	消耗品・定期取替品
弁蓋	消耗品・定期取替品
弁蓋ボルト	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	消耗品・定期取替品
弁棒	消耗品・定期取替品
アーム	消耗品・定期取替品

表2.1-4 泊2号炉 燃料油貯油そう出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	大気圧
最高使用温度	約50℃
内部流体	油

2.1.3 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁

(1) 構造

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁は、原子炉補機冷却海水系統に設置されている。

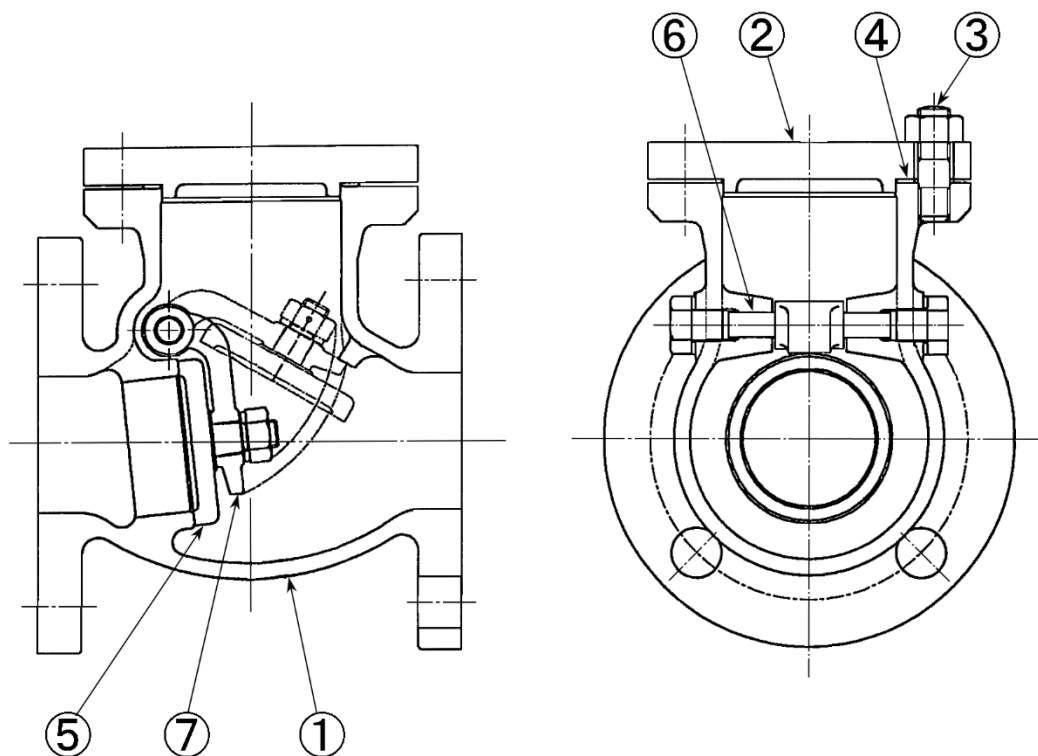
本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱、弁蓋及び弁体には銅合金鋳物を使用しており、海水に接液している。

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁棒
⑦	アーム

図2.1-3 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁構造図

表2.1-5 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	消耗品・定期取替品
弁蓋	消耗品・定期取替品
弁蓋ボルト	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	消耗品・定期取替品
弁棒	消耗品・定期取替品
アーム	消耗品・定期取替品

表2.1-6 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.4 主蒸気隔離弁

(1) 構造

泊2号炉の主蒸気隔離弁は、主蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁蓋及び弁体には炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

泊2号炉の主蒸気隔離弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の主蒸気隔離弁の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。

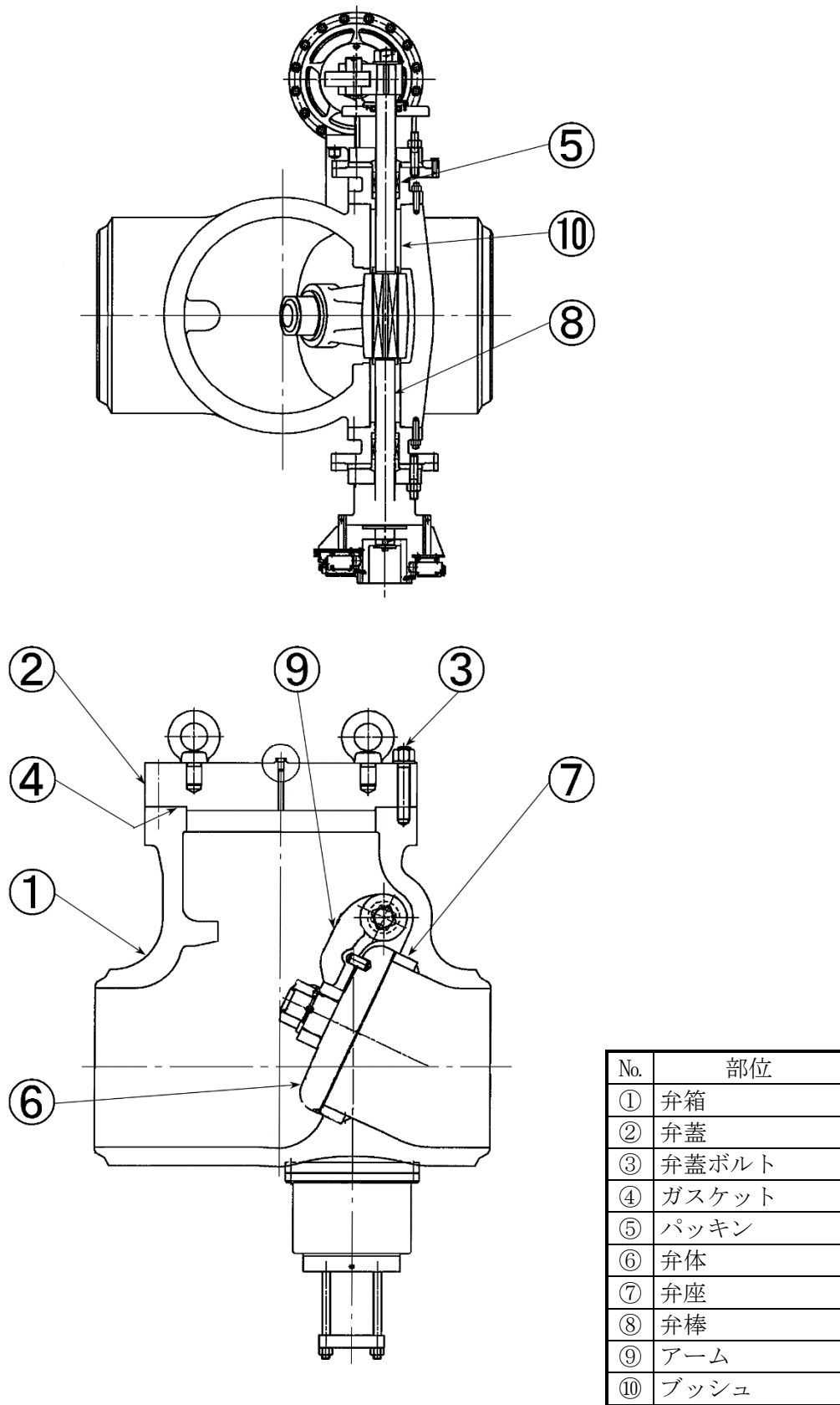


図2.1-4 泊2号炉 主蒸気隔離弁構造図

表2.1-7 泊2号炉 主蒸気隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
アーム	炭素鋼鋳鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-8 泊2号炉 主蒸気隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.5 1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁

(1) 構造

泊2号炉の1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁は、原子炉補機冷却水系統に設置されている。

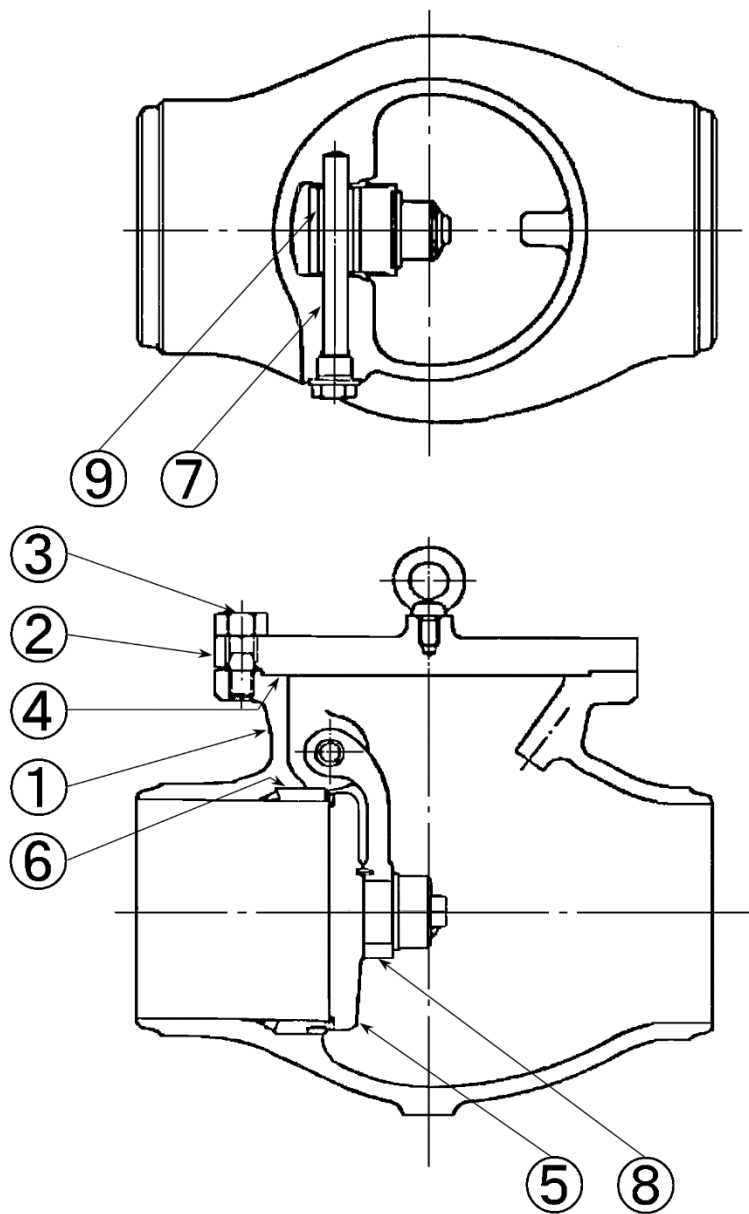
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁蓋及び弁体には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

泊2号炉の1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	アーム
⑨	ブッシュ

図2.1-5 泊2号炉 1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁構造図

表2.1-9 泊2号炉 1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
アーム	炭素鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-10 泊2号炉 1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.6 原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁

(1) 構造

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁は、原子炉補機冷却海水系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱，弁蓋，受け軸，弁蓋ボルト，ガスケット），流体を仕切る隔離部（弁体，弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒，アーム）からなる。

弁箱及び弁蓋には炭素鋼鋳鋼，受け軸には銅合金，弁体には銅合金鋳物を使用しており，海水に接液している。

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-11及び表2.1-12に示す。

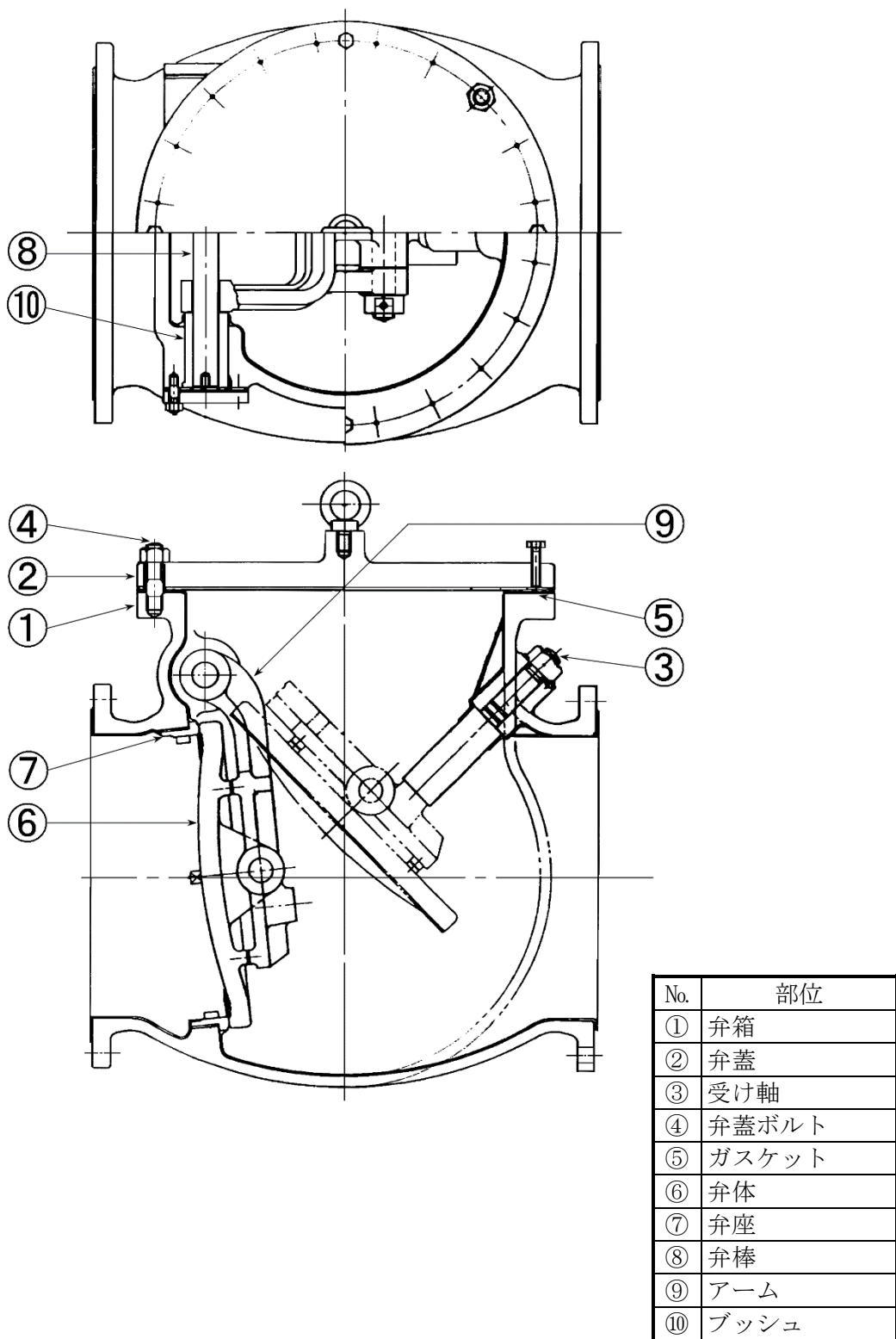


図2.1-6 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁構造図

表2.1-11 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼（内面ライニング）
弁蓋	炭素鋼鋳鋼（内面ライニング）
受け軸	銅合金
弁蓋ボルト	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	銅合金鋳物
弁座	銅合金鋳物
弁棒	銅合金
アーム	銅合金鋳物
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-12 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

スイング逆止弁の機能である流体の流れ方向制限機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

スイング逆止弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

なお、◆は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象には該当しないが、耐震安全性評価を実施するために本項に記載する。

(1) 弁箱の疲労割れ（◆）〔蓄圧タンク出口第2逆止弁〕

蓄圧タンク出口第2逆止弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁箱の熱時効 [蓄圧タンク出口第2逆止弁]

ステンレス鋼鋳鋼の弁箱は、使用温度が250℃以上と高いため熱時効による材料の特性変化が想定されるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、更に運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気隔離弁，1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁，原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は，外面からの腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気隔離弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁体，弁座及びアームは，内部流体（蒸気）による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (5) 弁体等の腐食（孔食・隙間腐食）〔原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁〕

銅合金又は銅合金鋳物の受け軸，弁体，弁座，弁棒及びアームは，内部流体の海水により孔食・隙間腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (6) 弁箱等の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は、海水が接するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水に接した場合、腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (7) 弁棒及びアームの摩耗〔共通〕

弁棒は弁の開閉に伴うパッキン受け部及び軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。

また、弁棒、アームの嵌合部は弁の開閉に伴う摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (8) 弁棒の腐食（隙間腐食）〔主蒸気隔離弁〕

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (9) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク出口第2逆止弁，主蒸気隔離弁，1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁〕

低合金鋼の弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により有意な腐食がないことを確認し、締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(10) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁体，弁座及びアームは，内部流体による腐食が想定される。

しかしながら，内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケット及びパッキンは，分解点検時に取替える消耗品であり，ブッシュは分解点検時の目視確認等の結果に基づき取替える消耗品であり，ディーゼル発電機設備のステンレス鋼弁（燃料油貯油そう出口逆止弁）及び原子炉補機冷却海水系統の銅合金弁（原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁ほか）は定期取替品でありいずれも長期使用はせず取替を前提としていることから，高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/6) 泊2号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼			○◆		△		◆：冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されないが、耐震安全性評価のために評価する	
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		ステンレス鋼	△							
	ブッシュ	◎	—								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/6) 泊2号炉 燃料油貯油そう出口逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)	◎	—								
	弁蓋	◎	—								
	弁蓋ボルト	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体	◎	—								
	弁棒	◎	—								
	アーム	◎	—								

表2.2-1(3/6) 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ自冷水ライン逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)	◎	—								
	弁蓋	◎	—								
	弁蓋ボルト	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体	◎	—								
	弁棒	◎	—								
	アーム	◎	—								

表2.2-1(4/6) 泊2号炉 主蒸気隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1：流れ加速型腐食 *2：全面腐食（外面） *3：隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ ^{*1}						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ ^{*1}						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*3}						
	アーム		炭素鋼鋳鋼	△	△ ^{*1}						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/6) 泊2号炉 1次冷却材ポンプ補機冷却水入口C/V内側隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△						
	弁蓋		炭素鋼		△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		炭素鋼	△	△						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(6/6) 泊2号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ出口逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼 (内面ライニング)		△*1,2					*1：異種金属接触腐食を含む *2：全面腐食（外面） *3：孔食・隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼 (内面ライニング)		△*1,2						
	受け軸		銅合金		△*3						
	弁蓋ボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		銅合金鋳物	△	△*3						
	弁座		銅合金鋳物	△	△*3						
	弁棒		銅合金	△	△*3						
	アーム		銅合金鋳物	△	△*3						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 弁箱の疲労割れ（◆）〔蓄圧タンク出口第2逆止弁〕

a. 事象の説明

蓄圧タンク出口第2逆止弁は、プラントの起動・停止時等による熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

蓄圧タンク出口第2逆止弁の高応力部位を対象とした健全性評価を以下に示す要領にて実施した。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

応力については、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

劣化が進展すると仮定した場合における運転開始後60年時点の疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、当該条件は冷温停止状態を前提とした運転開始後30年時点における評価条件を包含している。

それぞれの評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時の目視確認により状態を確認し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

なお、本事象については冷温停止状態では進展することがないことから、更に問題となる可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

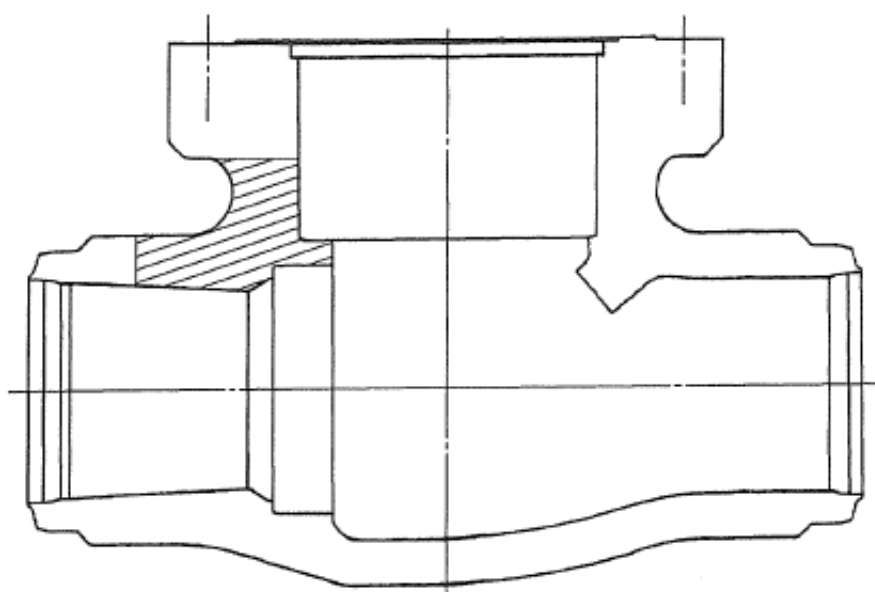


図2.3-1 泊2号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 泊2号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁の評価用過渡条件

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	28	67
停止(温度下降率55.6℃/h)	28	67
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	224	724
負荷減少(負荷減少率5%/min)	216	716
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	17	60
0%から15%への負荷上昇	28	63
15%から0%への負荷減少	20	59
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停止	0	1
II) 起動	0	1

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	1
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	1
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	1
1次冷却系の異常な減圧	0	1
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	0	1
タービン回転試験	5	5
1次系漏えい試験	21	56
蓄圧タンク出口電動弁誤作動	0	1

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 泊2号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値: 1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.071	0.391

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 弁箱の疲労割れ（◆） [安全注入系統及び余熱除去系統の弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける蓄圧タンク出口第2逆止弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値を満足する結果が得られており、当該弁と同等以下の過渡しか受けられないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 弁箱の熱時効 [余熱除去系統及び安全注入系統のステンレス鋼製鋼製の弁]

ステンレス鋼製の弁箱は、使用温度が250℃以上と高いと熱時効による材料の特性変化が想定されるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認している。

更に疲労評価上厳しくなると考えられる代表弁では、運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食） [炭素鋼，炭素鋼製鋼，低合金鋼，低合金鋼製鋼又は鋳鉄の弁箱及び弁蓋のある弁]

弁箱及び弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 弁棒及びアームの摩耗 [共通]

弁棒は弁の開閉に伴うパッキン受け部及び軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。

また、弁棒、アームの嵌合部は弁の開閉に伴う摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 弁棒の腐食（隙間腐食） [パッキンのある弁]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 弁箱等の腐食（全面腐食） [ディーゼル発電機設備及び補助蒸気系統の弁]

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座及びアームは、内部流体の飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水による腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトのある弁]

弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により有意な腐食がないことを確認し、締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水系統，換気空調系統，ディーゼル発電機設備，原子炉格納容器真空逃がし系統及び制御用空気系統の弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱，弁蓋，弁体，弁座及びアームは，内部流体による腐食が想定される。

しかしながら，内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水），油又は空気であり，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

1.6 リフト逆止弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統リフト逆止弁
- ② 化学体積制御系統リフト逆止弁
- ③ 安全注入系統リフト逆止弁
- ④ 余熱除去系統リフト逆止弁
- ⑤ 燃料取替用水系統リフト逆止弁
- ⑥ 1次系試料採取系統リフト逆止弁
- ⑦ 原子炉補給水系統リフト逆止弁
- ⑧ 原子炉補機冷却水系統リフト逆止弁
- ⑨ 制御用空気系統リフト逆止弁
- ⑩ 所内用空気系統リフト逆止弁
- ⑪ 気体廃棄物処理系統リフト逆止弁
- ⑫ 液体廃棄物処理系統リフト逆止弁
- ⑬ 消火系統リフト逆止弁
- ⑭ 補助蒸気系統リフト逆止弁
- ⑮ 換気空調系統リフト逆止弁
- ⑯ ディーゼル発電機設備リフト逆止弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	5
2.1 構造, 材料及び使用条件	5
2.2 経年劣化事象の抽出	20
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	30
3. 代表機器以外への展開	34
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	34
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	35

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊2号炉で使用されているリフト逆止弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのリフト逆止弁を設置場所、材料及び内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すリフト逆止弁について、設置場所、材料及び内部流体を分離基準として考えると、合計5つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：1次冷却材

このグループには、化学体積制御系統、安全注入系統、1次系試料採取系統、余熱除去系統、換気空調系統及び燃料取替用水系統のリフト逆止弁が属するが、重要度、最高使用温度及び最高使用圧力が高く、口径の大きいループ充てんライン第2逆止弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼又は銅合金，内部流体：純水，空気，希ガス等，油又はフロン

このグループには、1次冷却系統、原子炉補給水系統、液体廃棄物処理系統、化学体積制御系統、補助蒸気系統、1次系試料採取系統、ディーゼル発電機設備及び換気空調系統のリフト逆止弁が属するが、重要度、最高使用温度及び最高使用圧力が高い加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：廃液

このグループには、液体廃棄物処理系統のリフト逆止弁のみが属することから、低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：純水

このグループには、補助蒸気系統のリフト逆止弁のみが属することから、ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁を代表機器とする。

(5) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：窒素ガス，空気，希ガス等，淡水又はヒドラジン水

このグループには，安全注入系統，1次冷却系統，換気空調系統，所内用空気系統，制御用空気系統，気体廃棄物処理系統，消火系統及び原子炉補機冷却水系統のリフト逆止弁が属するが，重要度，最高使用温度及び最高使用圧力が高い，蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁を代表機器とする。

表1-1(1/2) 泊2号炉 リフト逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
			最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)							
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	26	化学体積制御系統	3/4~2	PS-1, MS-1, PS-2, 高*2	約18.8	約343	◎	ループ充てんライン第2逆止弁(2B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力 口径
			9	安全注入系統	1~2	PS-1, MS-1	約17.2	約343			
			6	1次系試料採取系統	3/8~3/4	MS-1, MS-2	約17.2	約360			
			1	余熱除去系統	2	PS-2	約4.5	約200			
			2	換気空調系統	3/4	MS-1	約0.3	約129			
			2	燃料取替用水系統	3/4	MS-1	約1.0	約129			
		純水	1	1次冷却系統	2	MS-1	約1.4	約129	◎	加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁(2B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力
			1	原子炉補給水系統	2	MS-1	約1.0	約129			
			1	液体廃棄物処理系統	3/4	高*2	約1.0	約150			
			2	化学体積制御系統	1	高*2	約1.0	約150			
	2		補助蒸気系統	1	高*2	約0.9	約185				
	3		1次系試料採取系統	3/4~1	MS-1	約0.3	約129				
	空気	6	ディーゼル発電機設備	1~1.1/2	高*2	約3.2	約90				
		1	化学体積制御系統	1.1/2	高*2	約0.1	約150				
	希ガス等	1	液体廃棄物処理系統	2	高*2	約0.1	約150				
		銅合金	油	4	換気空調系統	3/8	MS-1	約0.7	約75		
	フロン	4	換気空調系統	1/4	MS-1	約0.1	約100				

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表1-1(2/2) 泊2号炉 リフト逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(°C)			
屋内	ステンレス鋼	廃液	1	液体廃棄物処理系統	3/4	高*2	約0.1	約150	◎	低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁(3/4B)	
	炭素鋼	純水	3	補助蒸気系統	3/4~1	高*2	約0.9	約185	◎	ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッド トラップ出口逆止弁(3/4B) 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内 側隔離逆止弁(1B)	重要度 最高使用温度 最高使用圧力
			1	安全注入系統	1	MS-1	約5.5	約129	◎		
		空気	1	1次冷却系統	3/4	MS-1	約1.0	約129			
			2	換気空調系統	3/4	MS-1	約0.3	約129			
			1	所内用空気系統	2	MS-1	約0.8	約129			
		希ガス等	4	制御用空気系統	2	MS-1	約0.8	約129			
			4	気体廃棄物処理系統	1	PS-2	約1.0	約95			
		淡水	1	消火系統	2	MS-1	約1.5	約129			
	ヒドラジン水	4	原子炉補機冷却水系統	3/4	MS-1	約1.4	約129				

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5種類のリフト逆止弁について技術評価を実施する。

- ① ループ充てんライン第2逆止弁
- ② 加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁
- ③ 低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁
- ④ ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッダトラップ出口逆止弁
- ⑤ 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 ループ充てんライン第2逆止弁

(1) 構造

泊2号炉のループ充てんライン第2逆止弁は、化学体積制御系統に設置されている。

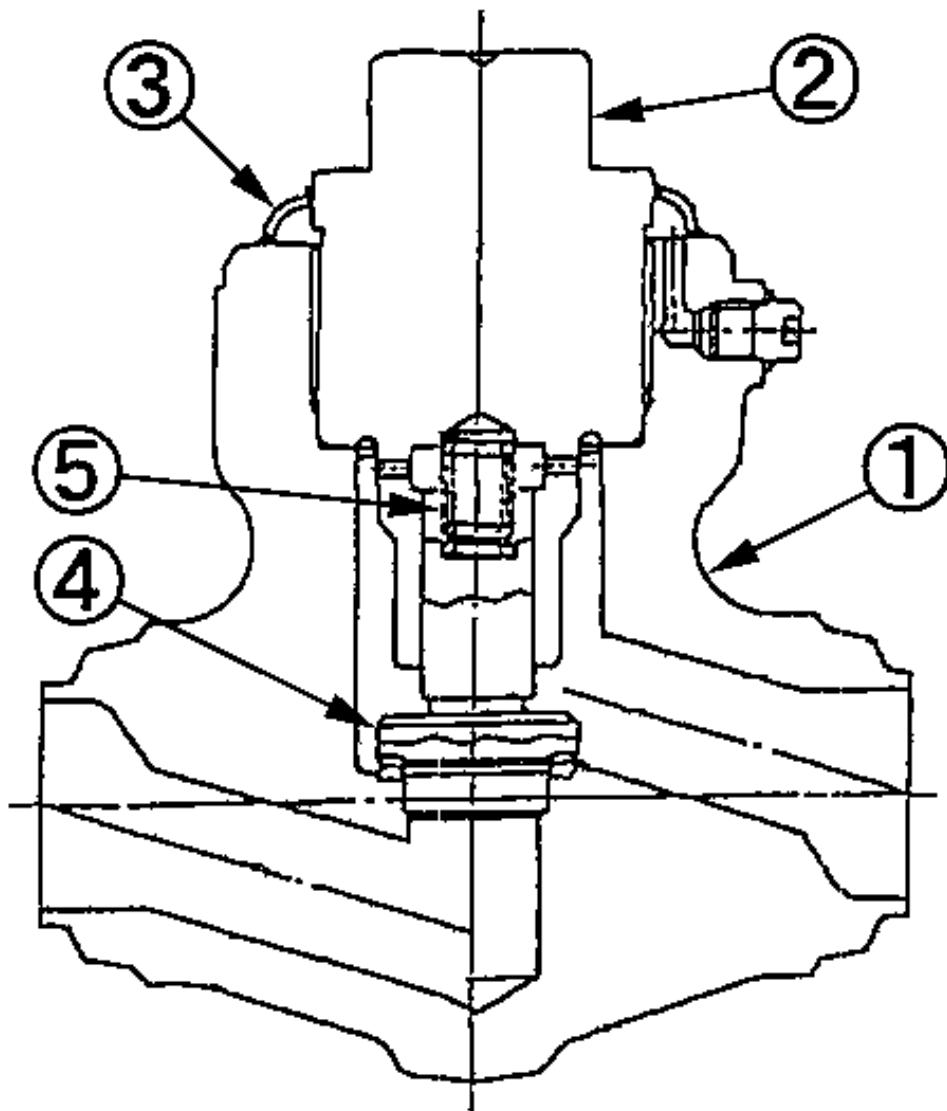
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、シールプレート）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱、弁蓋及び弁体にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

泊2号炉のループ充てんライン第2逆止弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉のループ充てんライン第2逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (弁体ガイドと一体)
③	シーลプレート
④	弁体
⑤	ばね

図2. 1-1 泊2号炉 ループ充てんライン第2逆止弁構造図

表2.1-1 泊2号炉 ループ充てんライン第2逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	ステンレス鋼
シールプレート	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
ばね	ステンレス鋼

表2.1-2 泊2号炉 ループ充てんライン第2逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁

(1) 構造

泊2号炉の加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁は、1次冷却系統に設置されている。

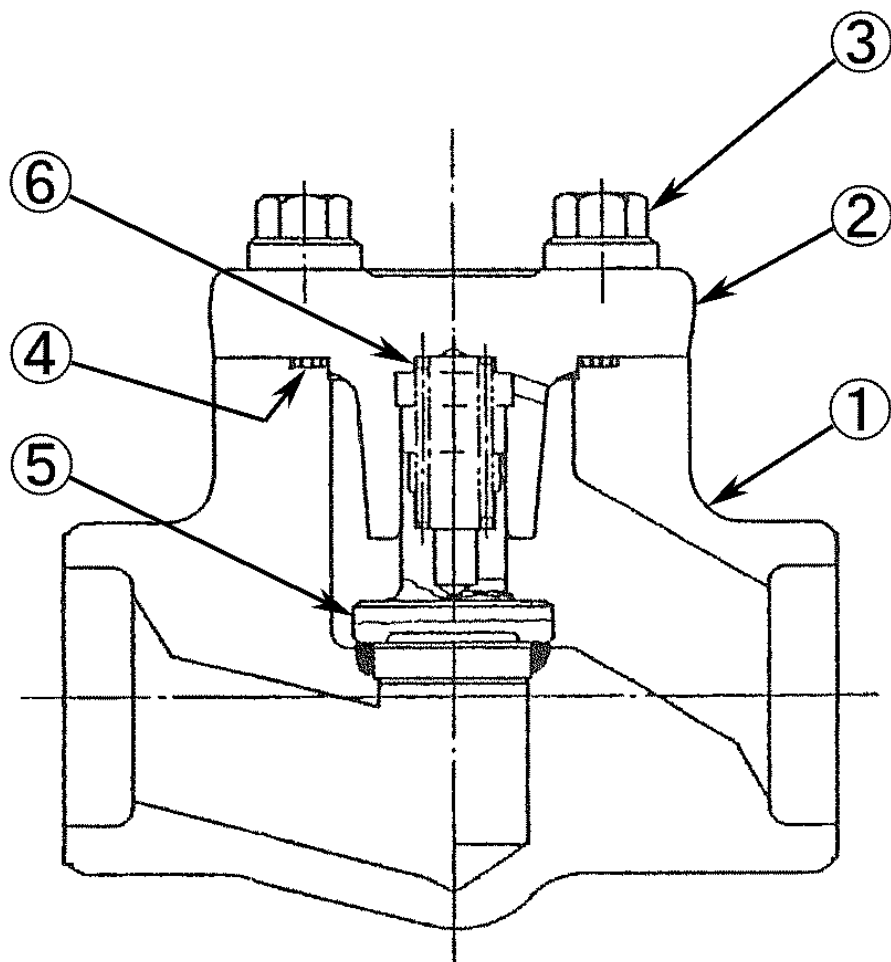
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱，弁蓋，弁蓋ボルト，ガスケット），流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱，弁蓋及び弁体にはステンレス鋼を使用しており，純水に接液している。

泊2号炉の加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱（弁座と一体）
②	弁蓋（弁体ガイドと一体）
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	ばね

図2.1-2 泊2号炉 加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁構造図

表2.1-3 泊2号炉 加压器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-4 泊2号炉 加压器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	純水

2.1.3 低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁

(1) 構造

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁は、液体廃棄物処理系統に設置されている。

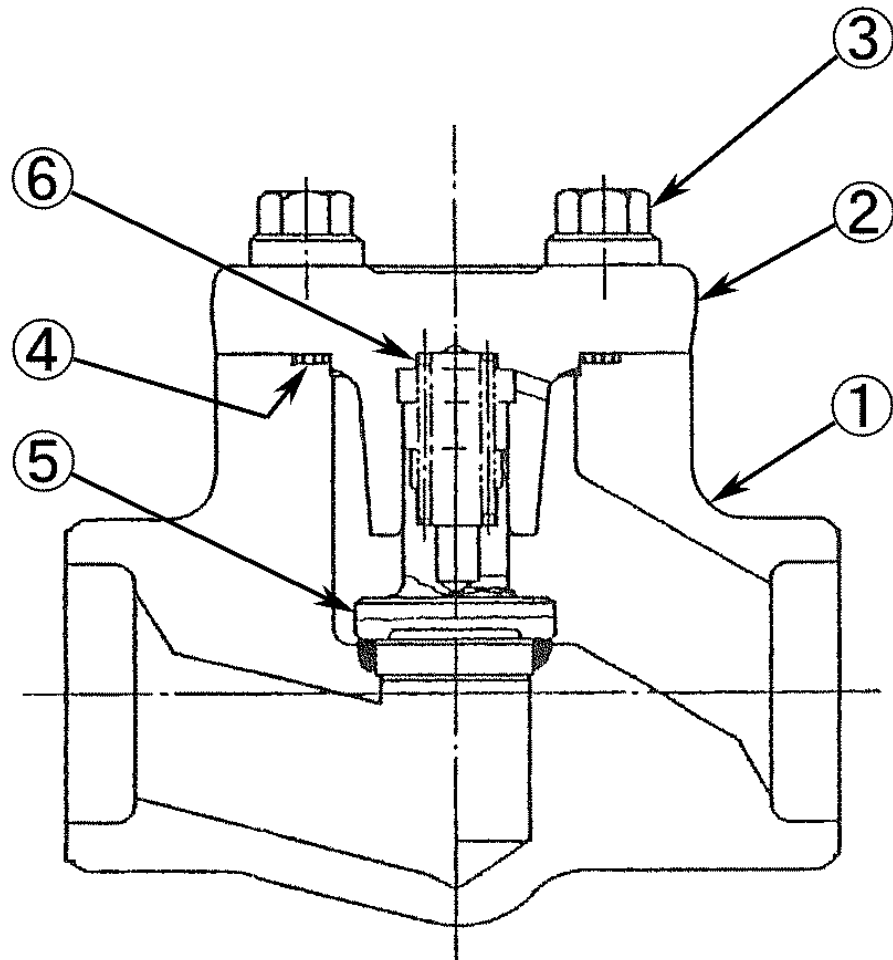
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱，弁蓋，弁蓋ボルト，ガスケット），流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱，弁蓋及び弁体にはステンレス鋼を使用しており，廃液に接液している。

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (弁体ガイドと一体)
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	ばね

図2.1-3 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁構造図

表2.1-5 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-6 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約0.1MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	廃液

2.1.4 ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁

(1) 構造

泊2号炉のほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁は、補助蒸気系統に設置されている。

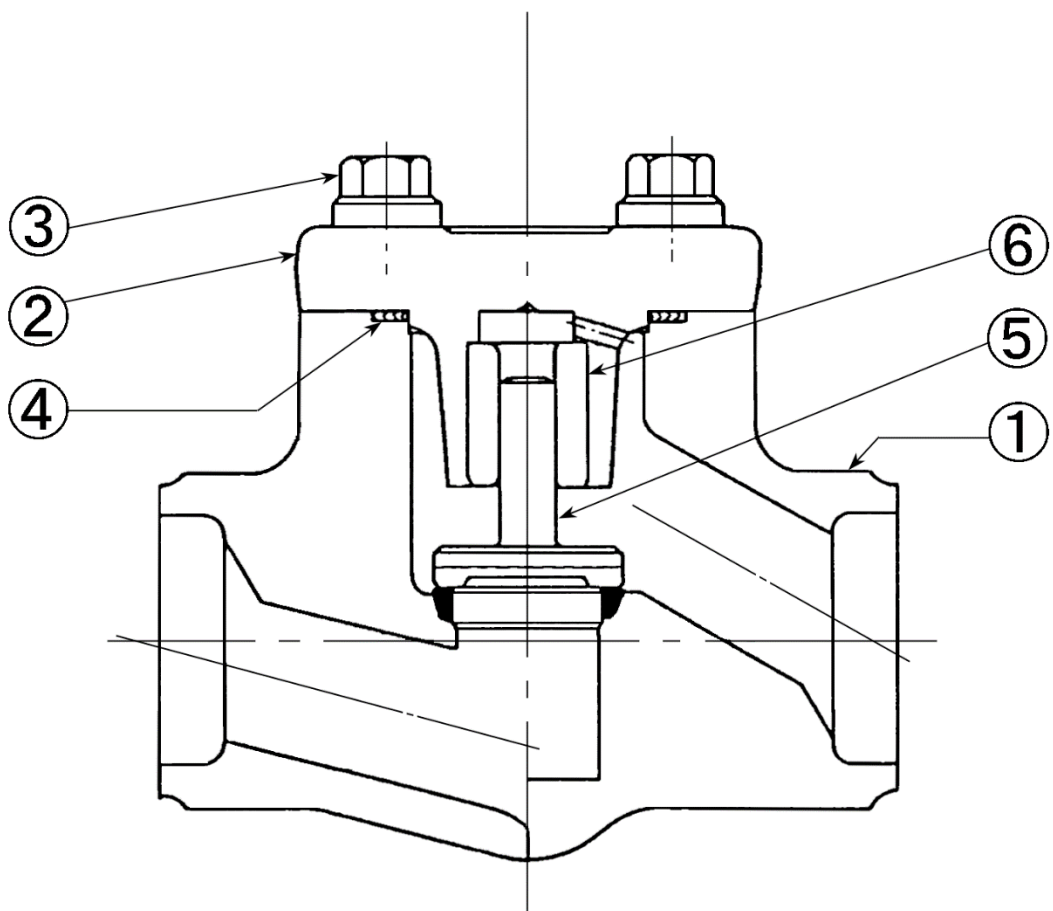
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイドからなる。

弁箱及び弁蓋には炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、純水に接液している。

泊2号炉のほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉のほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁体ガイド

図2.1-4 泊2号炉 ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁構造図

表2.1-7 泊2号炉 ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
弁体ガイド	ステンレス鋼

表2.1-8 泊2号炉 ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約0.9MPa [gage]
最高使用温度	約185℃
内部流体	純水

2.1.5 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁

(1) 構造

泊2号炉の蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁は、安全注入系統に設置されている。

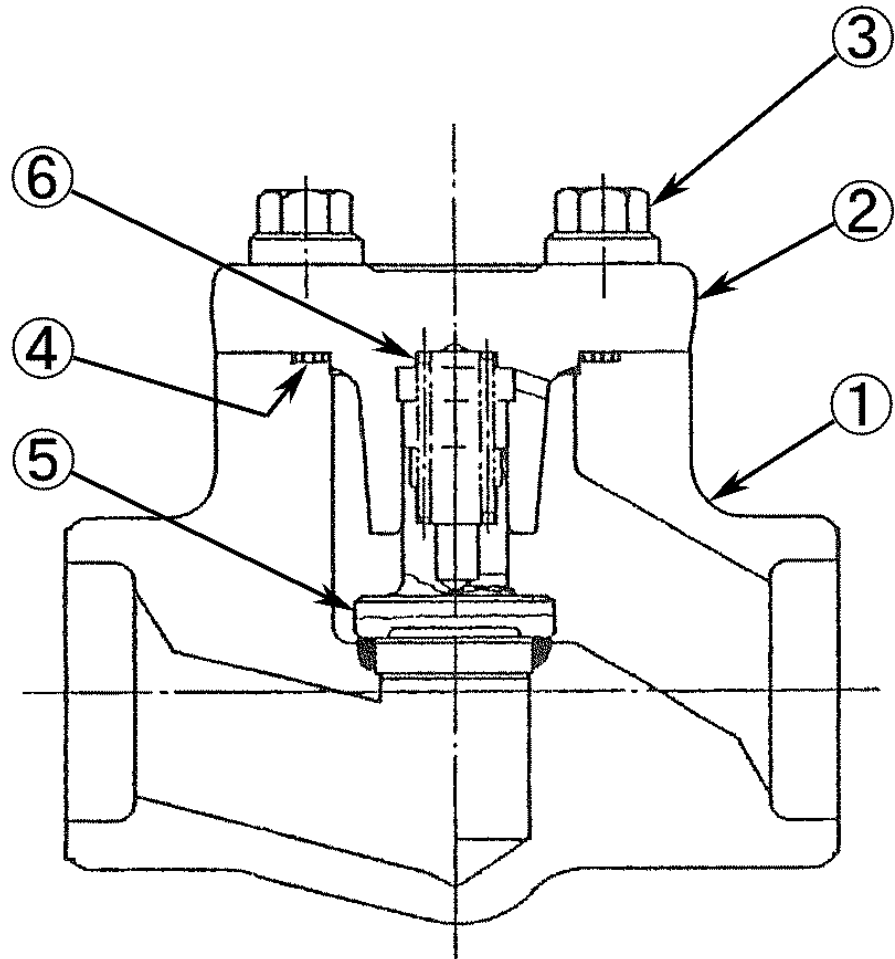
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱及び弁蓋は炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、窒素ガスに接している。

泊2号炉の蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁の使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (弁体ガイドと一体)
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	ばね

図2.1-5 泊2号炉 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁構造図

表2.1-9 泊2号炉 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-10 泊2号炉 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約5.5MPa [gage]
最高使用温度	約129℃
内部流体	窒素ガス

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

リフト逆止弁の機能である流体の流れ方向制限機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

リフト逆止弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々に部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

なお、◆は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象には該当しないが、耐震安全性評価を実施するために本項に記載する。

(1) 弁箱の疲労割れ（◆） [ループ充てんライン第2逆止弁]

ループ充てんライン第2逆止弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁箱等の応力腐食割れ [低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁]

ステンレス鋼の弁箱、弁蓋、弁体及びばねは、内部流体の塩化物イオン濃度が高い廃液により、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認及び漏えい確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食） [ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁，蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁]
炭素鋼の弁箱及び弁蓋は，外面からの腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 弁箱等の腐食（全面腐食） [ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁]

炭素鋼の弁箱及び弁蓋は，内部流体の飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水による腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (5) 弁体及び弁体ガイドの摩耗 [共通]

弁体及び弁体ガイドの摺動部は，弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら，摺動荷重は加わらず，有意な摩耗が発生する可能性は小さい。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

- (6) ばねの変形（応力緩和）〔ループ充てんライン第2逆止弁，加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁，低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁，蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより，変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら，リフト逆止弁のばねは，高粘性流体を取扱うラインにおける使用を考慮して，着座性をよくするために設けられているもので，泊2号炉で使用している水や空気等を取扱うラインでは流体の粘性が低く，弁体の自重のみで閉止可能であるため，仮にばねの変形（応力緩和）が発生したとしても，弁の機能に影響しない。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

- (7) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁，低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁，ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁，蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁〕

低合金鋼の弁蓋ボルトは，ガスケットからの漏えいにより，内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認により有意な腐食がないことを確認し，締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (8) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁〕
炭素鋼の弁箱及び弁蓋は，内部流体による腐食が想定される。

しかしながら，内部流体は窒素ガスであり，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

シールプレート及びガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり，長期使用はせず取替を前提としていることから，高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/5) 泊2号炉 ループ充てんライン第2逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△		○◆					◆：冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されないが，耐震安全性評価のために評価する
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		ステンレス鋼	△							
	シールプレート	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ステンレス鋼							△*1	*1：変形（応力緩和）

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 泊2号炉 加圧器逃がしタンク補給水ラインC/V内側隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							*1：変形（応力緩和）
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		ステンレス鋼	△							
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△							
	ばね		ステンレス鋼							△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/5) 泊2号炉 低水質廃液蒸発装置蒸留水戻りライン逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△			△				*1：変形（応力緩和）
	弁蓋（弁体ガイドと一体）		ステンレス鋼	△			△				
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△			△				
	ばね		ステンレス鋼				△			△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/5) 泊2号炉 ほう酸補給タンク加熱器蒸気ヘッドトラップ出口逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁蓋		炭素鋼		△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△							
	弁体ガイド		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 泊2号炉 蓄圧タンク窒素供給ラインC/V内側隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						*1：変形（応力緩和）
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		炭素鋼	△	△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△							
	ばね		ステンレス鋼							△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 弁箱の疲労割れ（◆） [ループ充てんライン第2逆止弁]

a. 事象の説明

ループ充てんライン第2逆止弁は、プラントの起動・停止時等による熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

ループ充てんライン第2逆止弁の高応力部位を対象とした健全性評価を以下に示す要領にて実施した。評価対象部位を図2.3-1に示す。

応力については、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

劣化が進展すると仮定した場合における運転開始後60年時点の疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、当該条件は冷温停止状態を前提とした運転開始後30年時点における評価条件を包含している。

それぞれの評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時の目視確認により状態を確認し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

なお、本事象については冷温停止状態では進展することがないことから、更に問題となる可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

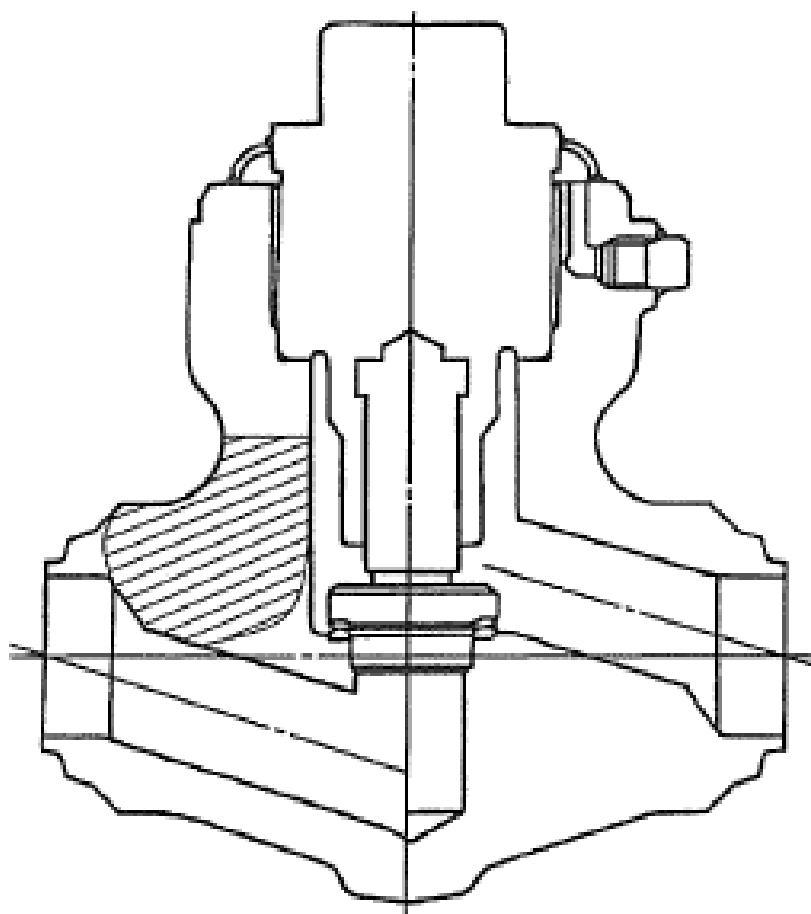


図2.3-1 泊2号炉 ループ充てんライン第2逆止弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 泊2号炉 ループ充てんライン第2逆止弁の評価用過渡条件

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	28	67
停止(温度下降率55.6℃/h)	28	67
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	224	724
負荷減少(負荷減少率5%/min)	216	716
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	17	60
0%から15%への負荷上昇	28	63
15%から0%への負荷減少	20	59
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停止	0	1
II) 起動	0	1
抽出ライン隔離及び復帰	0	4
充てんライン隔離及び復帰(保守)	0	1
充てん流量の50%減少及び復帰	227	728
充てん流量の50%増加及び復帰	227	748
抽出流量の50%減少及び復帰	28	67
抽出流量の100%増加及び復帰	224	724

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	1
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	1
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	1
1次冷却系の異常な減圧	0	1
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	0	1
タービン回転試験	5	5
1次系漏えい試験	21	56
充てんライン隔離及び復帰(SI時)	0	3

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 泊2号炉 ループ充てんライン第2逆止弁の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値: 1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼)	0.038	0.433

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 弁箱の疲労割れ（◆） [化学体積制御系統及び安全注入系統の弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受けるループ充てんライン第2逆止弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値を満足する結果が得られており、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食） [炭素鋼，炭素鋼鋳鋼，低合金鋼，低合金鋼鋳鋼又は鋳鉄の弁箱及び弁蓋のある弁]

弁箱及び弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 弁箱等の腐食（全面腐食） [補助蒸気系統及び消火系統の弁]

炭素鋼の弁箱，弁蓋又は弁座は，内部流体の飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水による腐食が想定される。

しかしながら，分解点検時の目視確認等により状態を確認し，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 弁体の固着 [原子炉補機冷却水系統の弁]

内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、炭素鋼配管における腐食生成物の発生は抑制されているものの、長期運転における腐食生成物堆積による弁体固着が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 弁体及び弁体ガイドの摩耗 [共通]

弁体及び弁体ガイドの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動荷重は加わらず、有意な摩耗が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.2.6 ばねの変形（応力緩和） [ばねのある弁]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、リフト逆止弁のばねは、高粘性流体を取扱うラインにおける使用を考慮して、着座性をよくするために設けられているもので、泊2号炉で使用している水や空気等を取扱うラインでは流体の粘性が低く、弁体の自重のみで閉止可能であるため、仮にばねの変形（応力緩和）が発生したとしても、弁の機能に影響しない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.2.7 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトのある弁〕
ガスケット構造の弁蓋部にある弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により有意な腐食がないことを確認し、締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔1次冷却系統，換気空調系統，所内用空気系統，制御用空気系統，気体廃棄物処理系統及び原子炉補機冷却水系統の弁〕
炭素鋼の弁箱，弁蓋及び弁座は，内部流体による腐食が想定される。

しかしながら，内部流体は窒素ガス，空気，希ガス等又はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

1.7 安全逃がし弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統安全逃がし弁
- ② 化学体積制御系統安全逃がし弁
- ③ 余熱除去系統安全逃がし弁
- ④ 主蒸気系統安全逃がし弁
- ⑤ 制御用空気系統安全逃がし弁
- ⑥ 気体廃棄物処理系統安全逃がし弁
- ⑦ 液体廃棄物処理系統安全逃がし弁
- ⑧ 補助蒸気系統安全逃がし弁
- ⑨ ディーゼル発電機設備安全逃がし弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造, 材料及び使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	16
3. 代表機器以外への展開	24
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	24

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されている安全逃がし弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの安全逃がし弁を設置場所、材料及び内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す安全逃がし弁について、設置場所、材料及び内部流体を分離基準として考えると、合計 4 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：1 次冷却材

このグループには 1 次冷却系統，化学体積制御系統及び余熱除去系統の安全逃がし弁が属するが，重要度が高い加圧器安全弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内，材料：ステンレス鋼，内部流体：空気，油又は希ガス等

このグループには，制御用空気系統，ディーゼル発電機設備，化学体積制御系統及び液体廃棄物処理系統の安全逃がし弁が属するが，重要度が高いディーゼル発電機設備に属する安全逃がし弁は定期取替品であるため，最高使用温度が高い制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：蒸気

このグループには，主蒸気系統及び補助蒸気系統の安全逃がし弁が属するが，重要度が高い主蒸気安全弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内，材料：炭素鋼，内部流体：希ガス等又は空気

このグループには，気体廃棄物処理系統及びディーゼル発電機設備の安全逃がし弁が属するが，重要度が高いガス減衰タンク安全弁を代表機器とする。

表1-1(1/2) 泊2号炉 安全逃がし弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(℃)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	2	1次冷却系統	4	PS-1	約17.2	約360	◎	加圧器安全弁(4B)	重要度
			5	化学体積制御系統	3/4~2	MS-1, 高*2	約18.8	約200			
			2	余熱除去系統	2	高*2	約 4.5	約200			
		空気	2	制御用空気系統	2	高*2	約 0.4	約200	◎	制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁(2B)	最高使用温度
			6	ディーゼル発電機設備	3/4~1	高*2	約 3.2	約 90			
		油	2	ディーゼル発電機設備	3/4	MS-1	約 0.8	約 80			
			希ガス等	1	化学体積制御系統	6	高*2	約 0.1			
		1		液体廃棄物処理系統	4	高*2	約 0.1	約150			

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95℃を超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表1-1(2/2) 泊2号炉 安全逃がし弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa[gage])	最高使用温度(℃)			
屋内	炭素鋼	蒸気	14	主蒸気系統	5	MS-1	約7.5	約291	◎	主蒸気安全弁(5B)	重要度
			1	補助蒸気系統	2	高*2	約0.09	約170			
		希ガス等	2	気体廃棄物処理系統	1	PS-2	約1.0	約95	◎	ガス減衰タンク安全弁(1B)	重要度
		空気	4	ディーゼル発電機設備	3/4	高*2	約3.2	約90			

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95℃を超え、又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の4種類の安全逃がし弁について技術評価を実施する。

- ① 加圧器安全弁
- ② 制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁
- ③ 主蒸気安全弁
- ④ ガス減衰タンク安全弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 加圧器安全弁

(1) 構造

泊2号炉の加圧器安全弁は、ばね安全弁であり、1次冷却系統に設置されている。

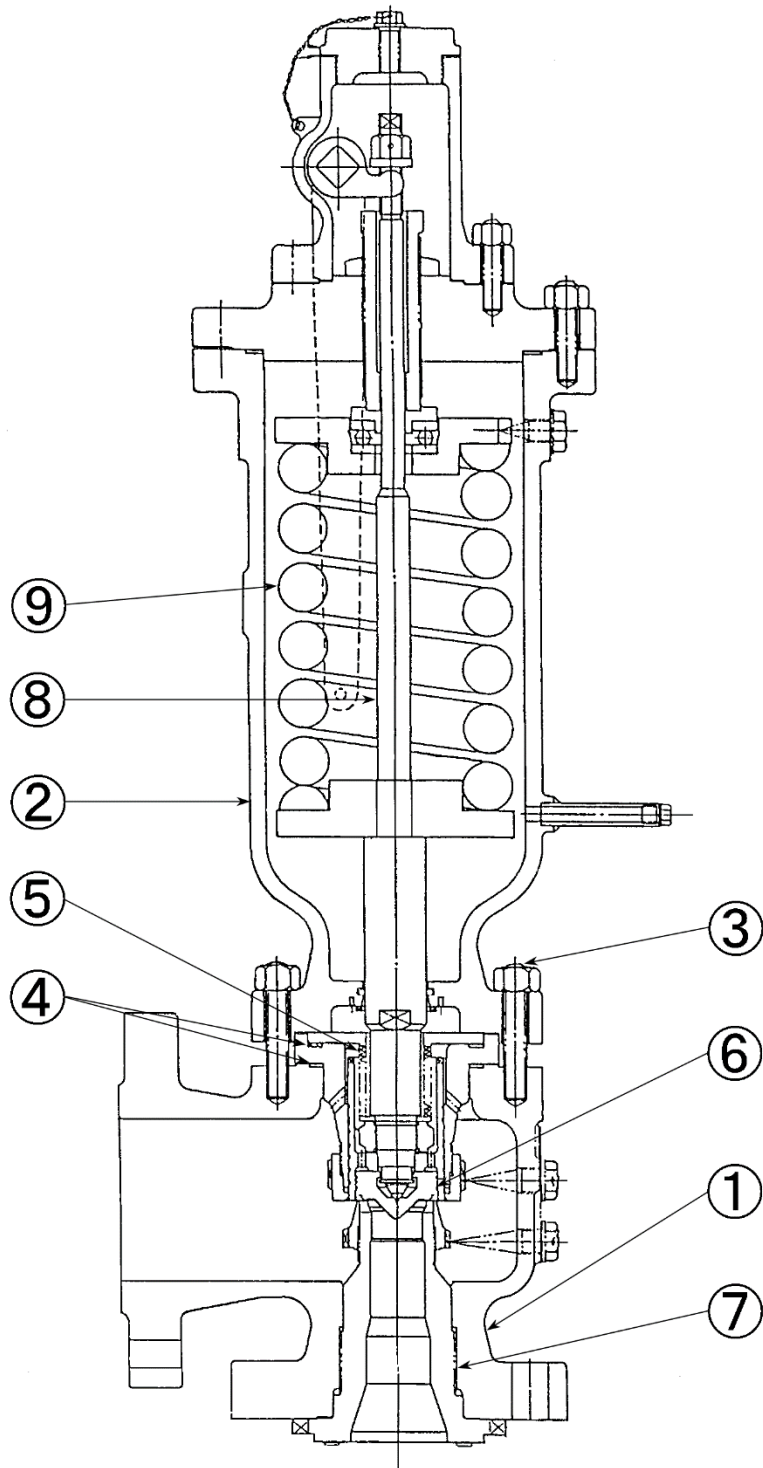
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱，弁蓋，弁蓋ボルト，ガスケット，ベローズ），流体を仕切る隔離部（弁体，弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒，ばね）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼，弁体にはニッケル基合金，弁座にはステンレス鋼を使用しており，1次冷却材に接液している。

泊2号炉の加圧器安全弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の加圧器安全弁の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	ベローズ
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ばね

図2.1-1 泊2号炉 加圧器安全弁構造図

表2.1-1 泊2号炉 加压器安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
ベローズ	ニッケル基合金
弁体	ニッケル基合金
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
ばね	ばね鋼

表2.1-2 泊2号炉 加压器安全弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約360℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁

(1) 構造

泊2号炉の制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁は、ばね安全弁であり、制御用空気系統に設置されている。

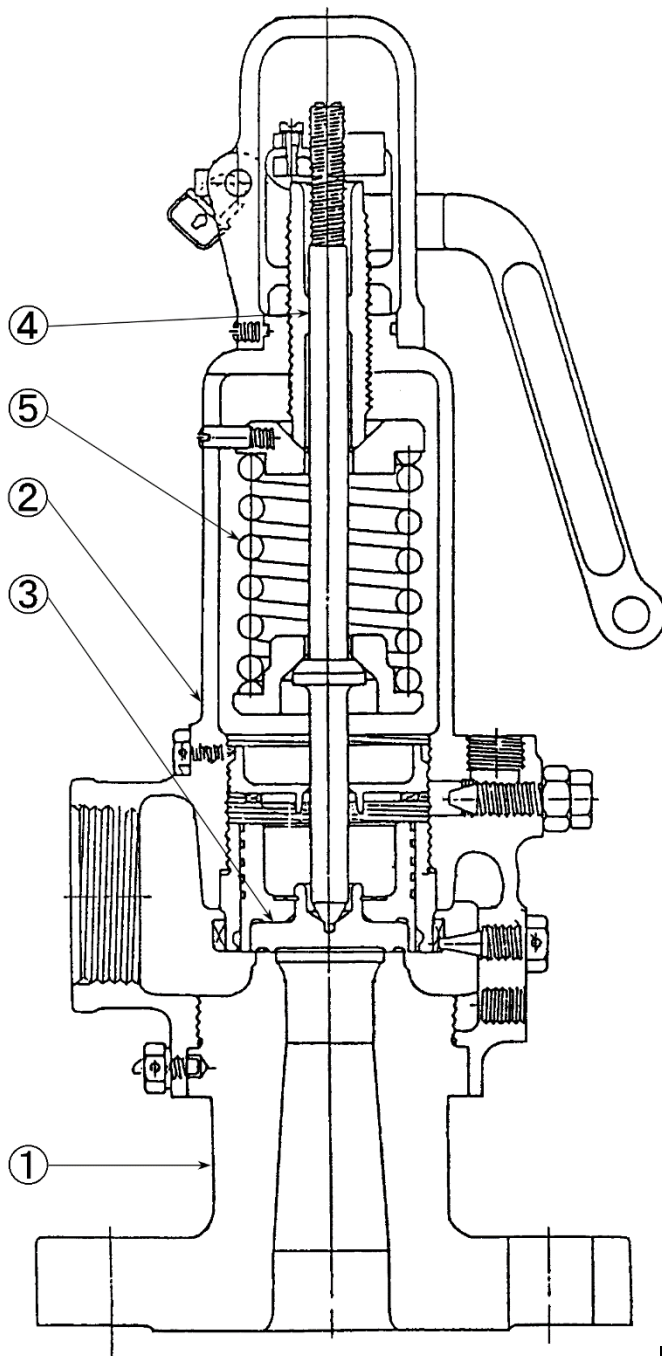
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋）、流体を仕切る隔離部（弁体）及び弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱にはステンレス鋼、弁体にはクロムニッケルモリブデン鋼を使用しており、空気に接している。

泊2号炉の制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁体
④	弁棒
⑤	ばね

図2. 1-2 泊2号炉 制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁構造図

表2.1-3 泊2号炉 制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼
弁蓋	銅合金鋳物
弁体	クロムニッケルモリブデン鋼
弁棒	ステンレス鋼
ばね	ばね用オイルテンパー線

表2.1-4 泊2号炉 制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁の使用条件

最高使用圧力	約0.4MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
内部流体	空気

2.1.3 主蒸気安全弁

(1) 構造

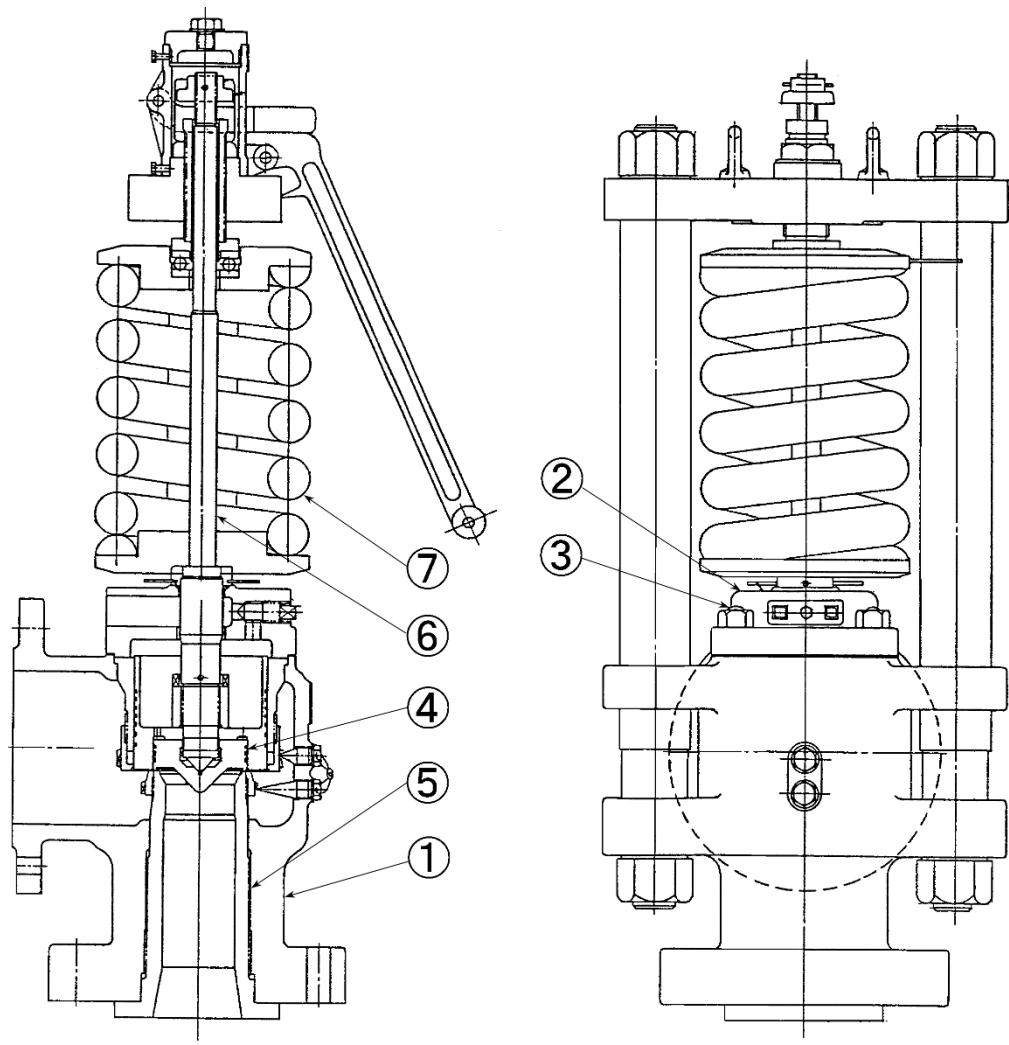
泊2号炉の主蒸気安全弁は、ばね安全弁であり、主蒸気系統に設置されている。弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁体にはクロムニッケルモリブデン鋼、弁座には炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

泊2号炉の主蒸気安全弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の主蒸気安全弁の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	弁体
⑤	弁座
⑥	弁棒
⑦	ばね

図2.1-3 泊2号炉 主蒸気安全弁構造図

表2.1-5 泊2号炉 主蒸気安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
弁体	クロムニッケルモリブデン鋼
弁座	炭素鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
ばね	ばね鋼

表2.1-6 泊2号炉 主蒸気安全弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.4 ガス減衰タンク安全弁

(1) 構造

泊2号炉のガス減衰タンク安全弁は、ばね安全弁であり、気体廃棄物処理系統に設置されている。

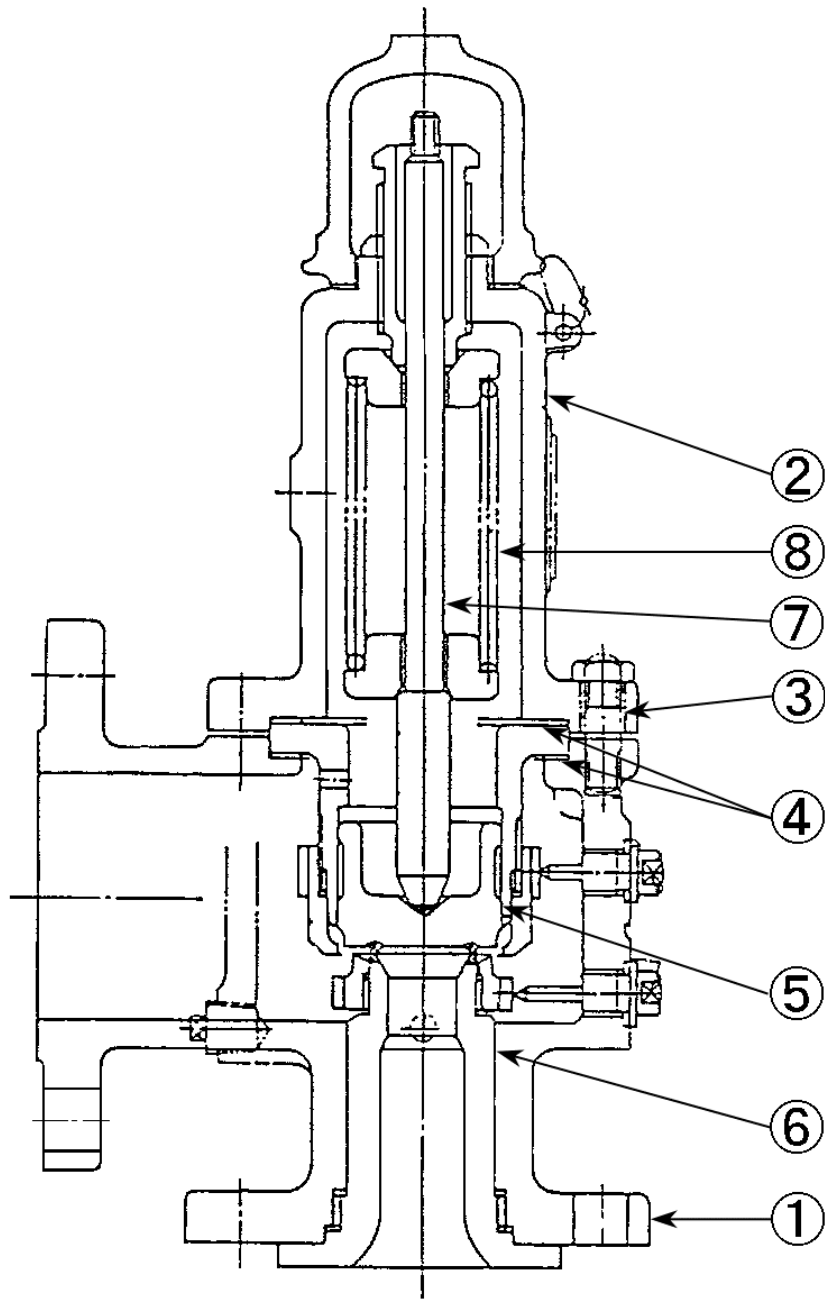
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁体及び弁座にはステンレス鋼を使用しており、希ガス等に接している。

泊2号炉のガス減衰タンク安全弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉のガス減衰タンク安全弁の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	ばね

図2.1-4 泊2号炉 ガス減衰タンク安全弁構造図

表2.1-7 泊2号炉 ガス減衰タンク安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ばね	ばね用オイルテンパー線

表2.1-8 泊2号炉 ガス減衰タンク安全弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	希ガス等

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

安全逃がし弁の機能である圧力抑制機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

安全逃がし弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

- (1) 弁箱及び弁蓋の外表面からの腐食（全面腐食）〔加圧器安全弁、主蒸気安全弁、ガス減衰タンク安全弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (2) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔加圧器安全弁、主蒸気安全弁〕

炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋及び弁座は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認で状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [加圧器安全弁，ガス減衰タンク安全弁]
ガスケット構造の弁蓋部にある低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトは，ガスケットからの漏えいにより，内部流体によるボルトの腐食が想定される。
しかしながら，分解点検時の目視確認により有意な腐食がないことを確認し，締付管理により漏えい防止を図っている。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (4) ベローズの疲労割れ [加圧器安全弁]
ベローズは弁の開閉による疲労割れが想定される。
しかしながら，安全逃がし弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数はほとんどない。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。
- (5) 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]
弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により，摩耗が想定される。
しかしながら，安全逃がし弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数はほとんどない。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。
- (6) 弁棒の摩耗 [共通]
弁棒は弁の開閉に伴う弁蓋との摺動により，摩耗が想定される。
しかしながら，安全逃がし弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数はほとんどない。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお，分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

(7) ばねの変形（応力緩和）〔共通〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認及び作動確認により機器の健全性を確認している。

(8) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁、ガス減衰タンク安全弁〕

銅合金鋳物又は炭素鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は空気又は希ガス等であり、腐食が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/4) 泊2号炉 加圧器安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼							*1：変形（応力緩和）	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	ベローズ		ニッケル基合金			△					
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ニッケル基合金	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ばね鋼						△*1		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/4) 泊2号炉 制御用空気圧縮機中間冷却器安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱（弁座と一体）		ステンレス鋼	△							*1：変形（応力緩和）
	弁蓋		銅合金鋳物		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		クロムニッケル モリブデン鋼	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ばね		ばね用オイル テンパー線							△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/4) 泊2号炉 主蒸気安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△					*1：変形（応力緩和）	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		クロムニッケル モリブデン鋼	△							
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ばね鋼						△*1		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 泊2号炉 ガス減衰タンク安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△					*1：変形（応力緩和）	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△						
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ばね		ばね用オイルテンパー線						△*1		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 弁箱及び弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔炭素鋼，炭素鋼鋳鋼，低合金鋼，低合金鋼鋳鋼又は鋳鉄の弁箱及び弁蓋のある弁〕

弁箱及び弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 弁箱等の腐食（全面腐食）〔化学体積制御系統及び補助蒸気系統の弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等で状態を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔ガスケット構造の弁蓋部にある低合金鋼又は炭素鋼の弁蓋ボルトのある弁〕

ガスケット構造の弁蓋部にある弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認等により有意な腐食がないことを確認し、締付管理により漏えい防止を図っている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 ベローズの疲労割れ〔ベローズのある弁〕

ベローズは弁の開閉による疲労割れが想定される。

しかしながら、安全逃がし弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数はほとんどない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.1.5 弁体及び弁座シート面の摩耗〔共通〕

弁体及び弁座のシート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、安全逃がし弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数はほとんどない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.1.6 弁棒の摩耗〔共通〕

弁棒は弁の開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、安全逃がし弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数はほとんどない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

3.1.7 ばねの変形（応力緩和）〔共通〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認及び作動確認等により機器の健全性を確認している。

3.1.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔ディーゼル発電機設備の弁〕

銅合金鋳物又は炭素鋼鋳鋼の弁箱及び弁蓋は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は空気又は油であり、腐食が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により機器の健全性を確認している。

2 一般弁（駆動部）

[対象機器]

- 2.1 電動装置
- 2.2 空気作動装置

2.1 電動装置

[対象機器]

- ① 1次冷却系統電動弁
- ② 化学体積制御系統電動弁
- ③ 安全注入系統電動弁
- ④ 余熱除去系統電動弁
- ⑤ 原子炉格納容器スプレイ系統電動弁
- ⑥ 1次系試料採取系統電動弁
- ⑦ 主蒸気系統電動弁
- ⑧ 主給水系統電動弁
- ⑨ 補助給水系統電動弁
- ⑩ 原子炉補機冷却水系統電動弁
- ⑪ 制御用空気系統電動弁
- ⑫ 原子炉補機冷却海水系統電動弁
- ⑬ 換気空調系統電動弁
- ⑭ ディーゼル発電機設備電動弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	13
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	19
3. 代表機器以外への展開	23
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	23
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	24

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されている弁を駆動する電動装置主要部位の主な仕様を表1-1に示す。
これらの電動装置を設置場所及び電動機型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

電動装置は、電動機や駆動装置等の組み合わせにより構成されており、使用する系統の条件には関係なく、弁本体の駆動力等の条件に適合する仕様を選定している。

構成機器のうち、駆動装置については電動装置の仕様に依存せず、構造、材料等が同等であることから、経年劣化に対する健全性評価はいずれの仕様においても同等として評価する。また、電動機型式については交流電動機と直流電動機があり、個々に評価する。

したがって、表1-1に示す電動装置を設置場所及び電動機の型式で分類すると、合計 2 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内、電動機型式：交流

電動機型式が交流の電動装置の中から、原子炉格納容器内のループ室内設置であり、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とする余熱除去ライン入口止め弁電動装置を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内、電動機型式：直流

電動機型式が直流の電動装置のグループには、タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置のみが属するため、タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置を代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 電動装置の主な仕様

分離基準		仕様	台数	選定基準					代表機器の選定	
設置場所	電動機型式			重要度*1	口径 (B)	使用場所			代表弁	選定理由
						原子炉格納容器内	原子炉格納容器外	周囲温度		
屋内	交流	SMB-3	104	MS-1	10	○*2	—	約28～43℃	◎ 余熱除去ライン入口止め弁 (SMB-3, 10B)	使用条件, 弁本体の口径
		SMB-2		MS-1	6～8	—	○	約26～40℃		
		SMB-0		MS-1	4～6	—	○*3	約26～50℃		
		SMB-00		MS-1	2～6	—	○	約26～40℃		
		SMB-000		MS-1	3/8～4	○	—	約28～43℃		
					2～3	—	○*3	約26～50℃		
		SB-4D		MS-1	16～18	—	○*3	約26～50℃		
		SB-3D		MS-1	14	—	○	約26～40℃		
		SB-2D		MS-1	6～10	—	○	約26～40℃		
		SB-1D		MS-1, 2	3	○*2	—	約28～43℃		
					6～12	—	○	約26～40℃		
		SB-0D		MS-1	3	—	○	約26～40℃		
		SB-00D		MS-1	3～4	○	—	約28～43℃		
					3～4	—	○	約26～40℃		
		SS2-14A-WT		MS-1	16	—	○	約26～40℃		
SS2-7A-EB/WT	MS-1	3	—	○	約26～40℃					
直流	SMB-0	2	MS-1	4	—	○*3	約50℃	◎ タービン動補助給水ポンプ 駆動蒸気ライン元弁 (SMB-0, 4B)		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：使用環境の厳しいループ室又は加圧器室内に設置。

*3：主蒸気管室設置分を含む。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の電動装置について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去ライン入口止め弁電動装置
- ② タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 余熱除去ライン入口止め弁電動装置

(1) 構造

泊2号炉の余熱除去ライン入口止め弁電動装置はSMB-3型で2台設置されている。

電動装置は、電動機（交流電動機）及び歯車等を内蔵した駆動装置で構成されており、電動機の回転力を歯車（ギア）を介して、ステムナット、弁棒に伝達し、弁を駆動させる構造としている。

泊2号炉の余熱除去ライン入口止め弁電動装置の構造図及び構造概念図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の余熱除去ライン入口止め弁電動装置の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

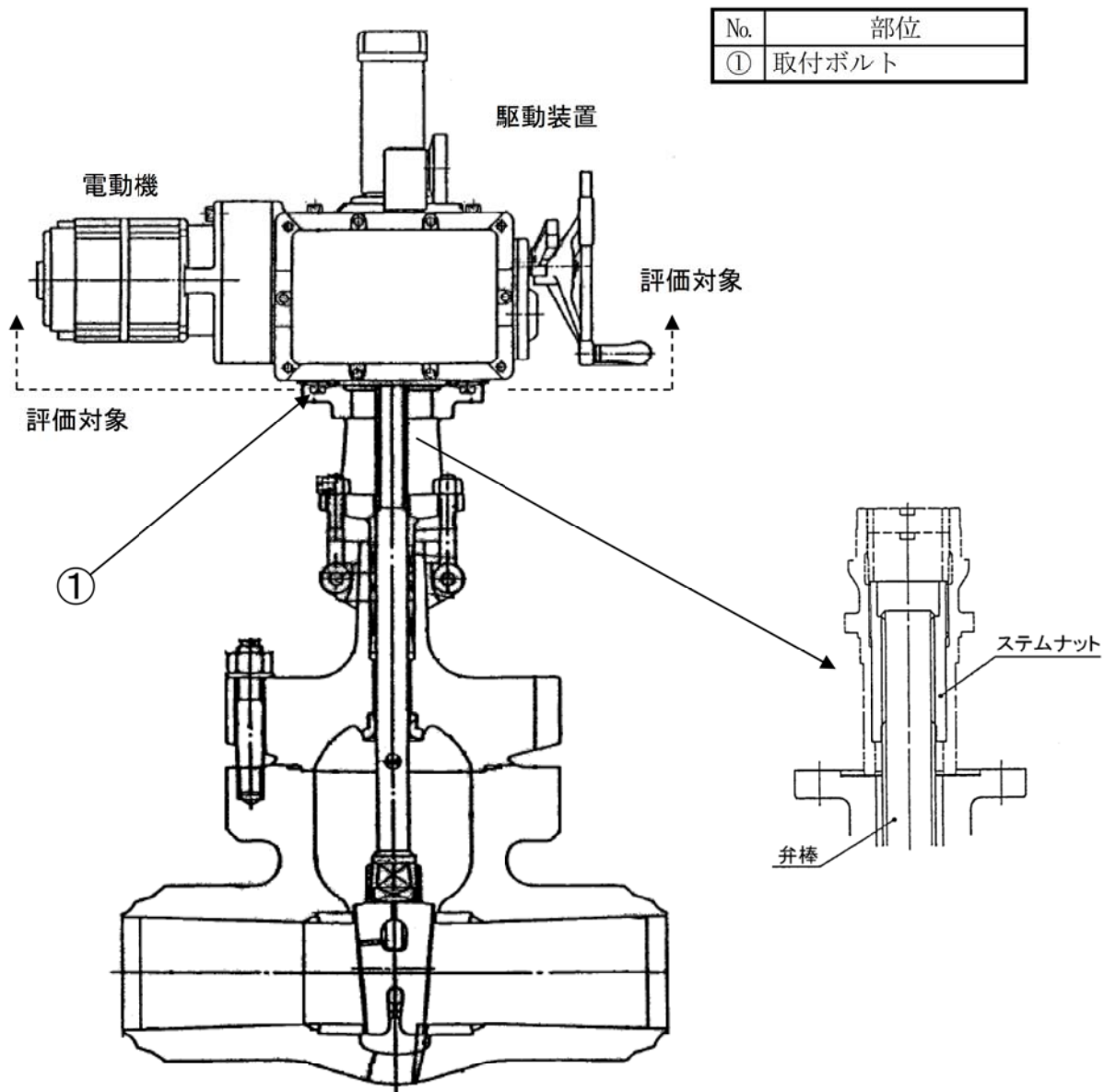


図2.1-1(1/3) 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁電動装置構造図

No.	部位
①	フレーム
②	固定子コア
③	固定子コイル
④	回転子コア
⑤	口出線・接続部品
⑥	軸受（ころがり）
⑦	ガスケット

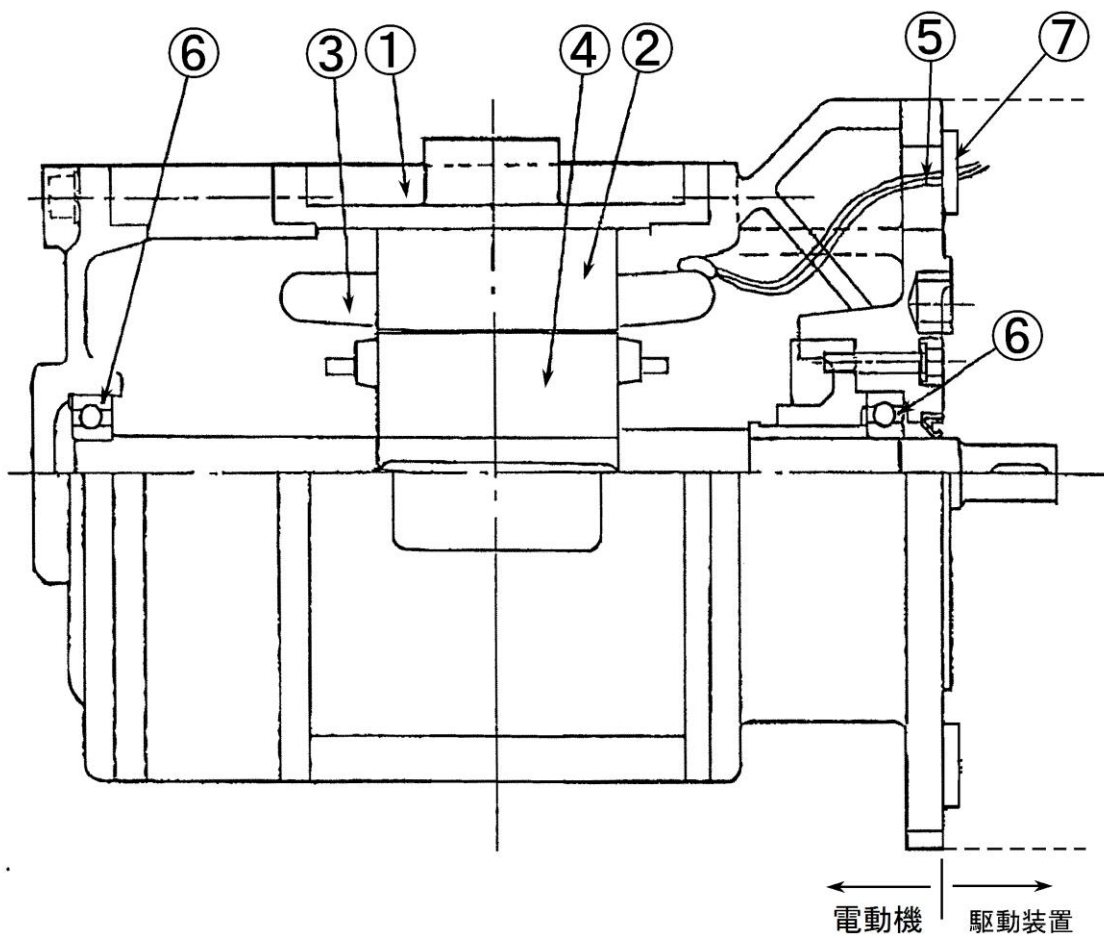
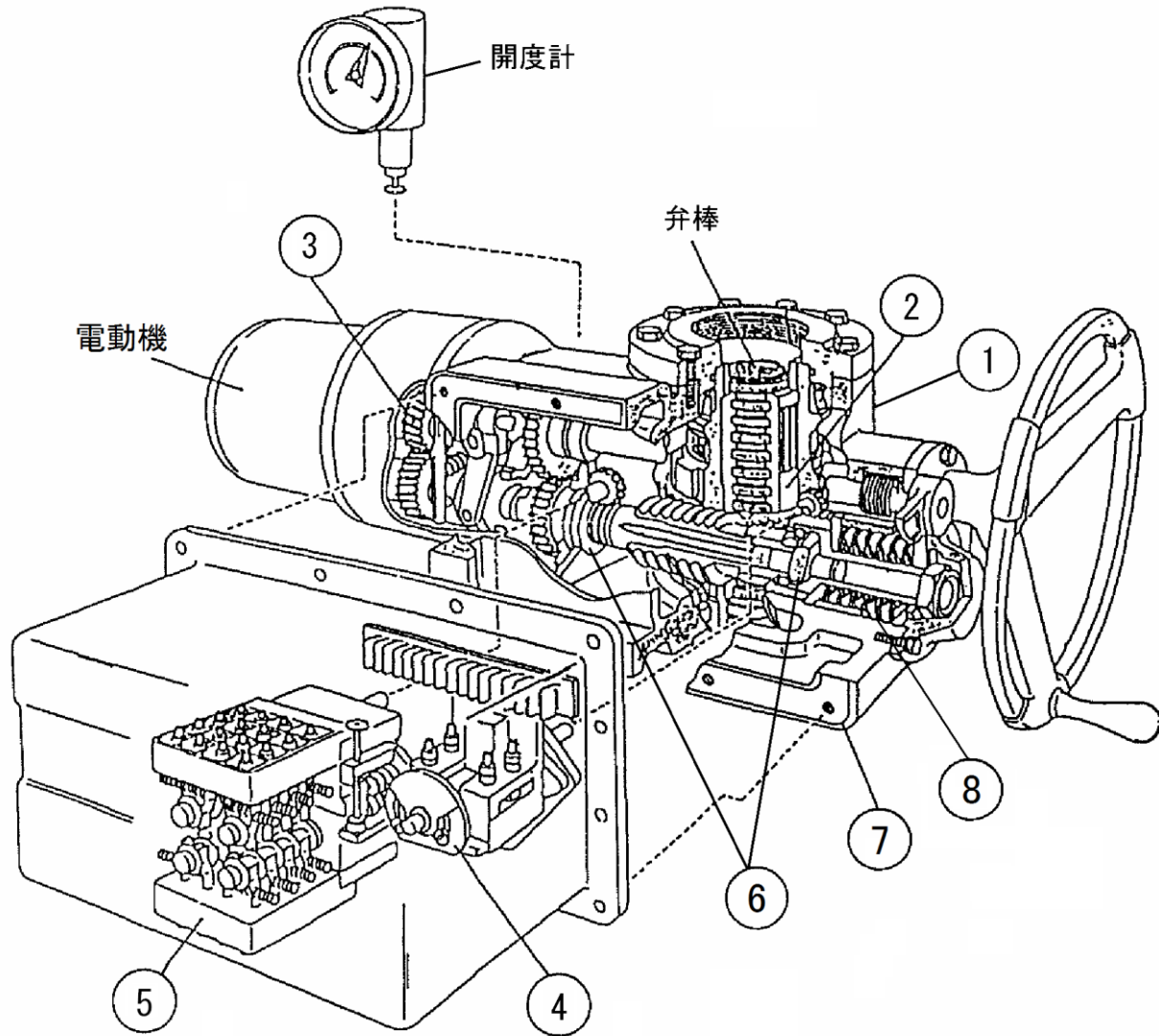


図2. 1-1(2/3) 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁電動装置（電動機）構造図



No.	部位
①	駆動装置ハウジング
②	ステムナット
③	歯車
④	トルクスイッチ
⑤	リミットスイッチ
⑥	軸受 (ころがり)
⑦	ガスケット
⑧	トルクスプリングパック

図2.1-1(3/3) 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁電動装置 (駆動装置) 構造概念図

表2.1-1 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁電動装置主要部位の使用材料

部位		材料
電動機 組立部品	フレーム	鋳鉄
	固定子コア	珪素鋼板
	固定子コイル	銅, ポリイミド/ポリアミドイミド (H種絶縁), エポキシ樹脂モールド
	回転子コア	珪素鋼板
	口出線・接続部品	銅, シリコンゴム (H種絶縁)
	軸受 (ころがり)	消耗品・定期取替品
駆動装置 組立部品	駆動装置ハウジング	鋳鉄
	ステムナット	銅合金鋳物
	歯車	低合金鋼, 銅合金鋳物
	トルクスイッチ	ジアリルフタレート樹脂
	トルクスプリングパック	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	ジアリルフタレート樹脂
	軸受 (ころがり)	軸受鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持部品	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-2 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁電動装置の使用条件

	通常運転時
定格出力	6.9kW
定格電圧	AC440V
周囲温度	約29℃*1
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下
放射線	0.126Gy/h*2

*1：通常運転時の原子炉格納容器ループ室内弁電動装置周囲の平均温度の最大実測値

*2：通常運転時の原子炉格納容器ループ室内弁電動装置周囲の平均線量率の最大実測値

2.1.2 タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置

(1) 構造

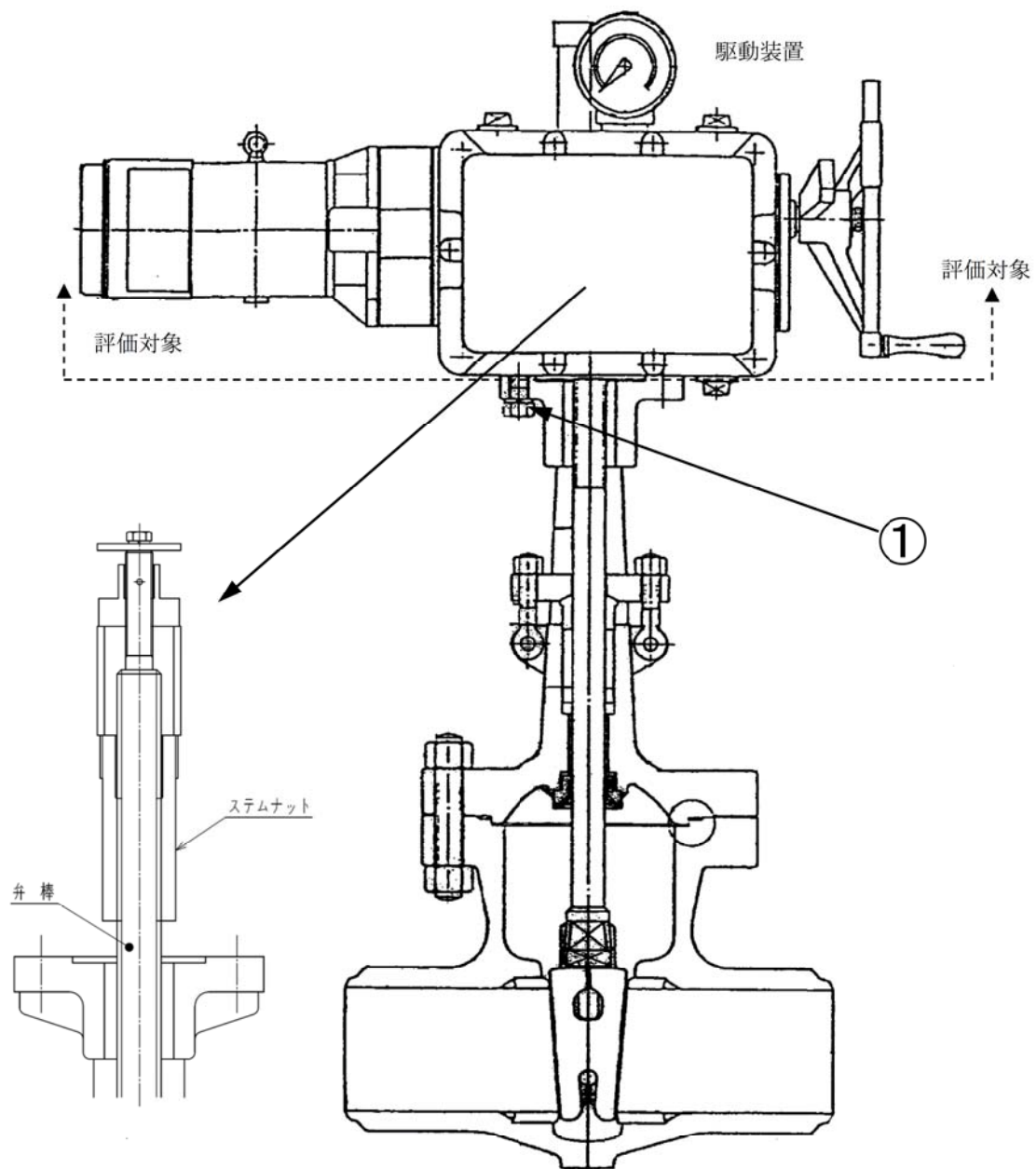
泊2号炉のタービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置はSMB-0型で2台設置されている。

電動装置は、電動機（直流電動機）及び歯車等を内蔵した駆動装置で構成されており、電動機の回転力を歯車（ギア）を介して、ステムナット、弁棒に伝達し、弁を駆動させる構造としている。

泊2号炉のタービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置の構造図および構造概念図を図2.1-2に示す。

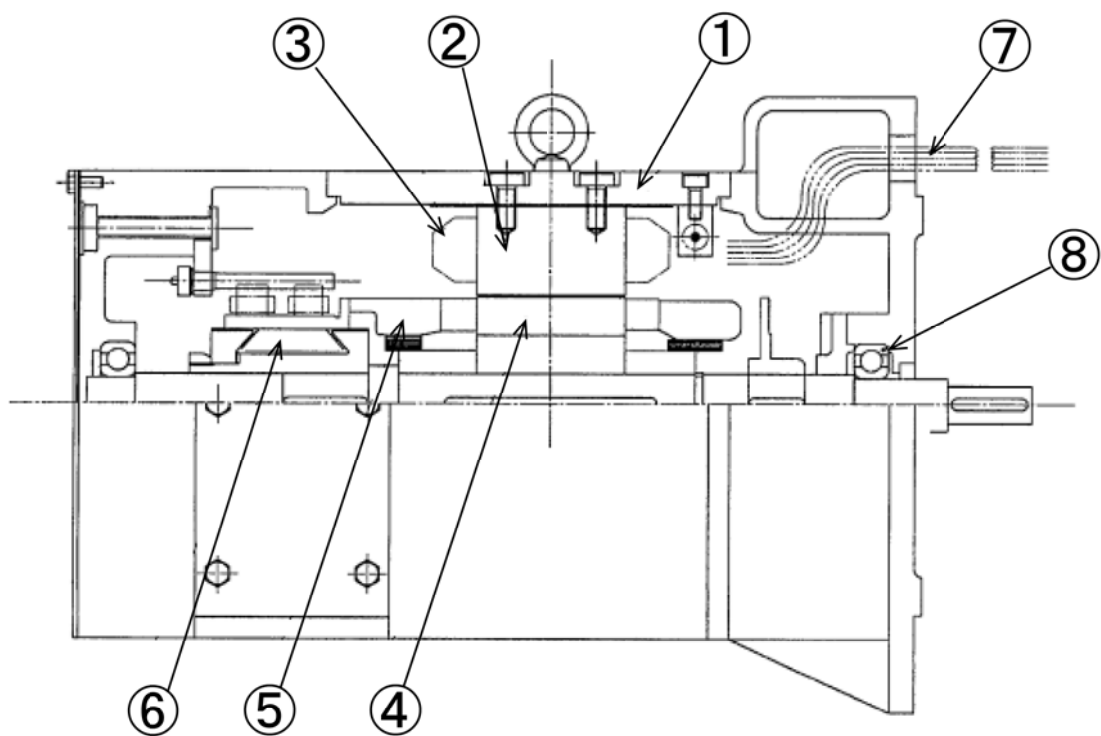
(2) 材料及び使用条件

泊2号炉のタービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



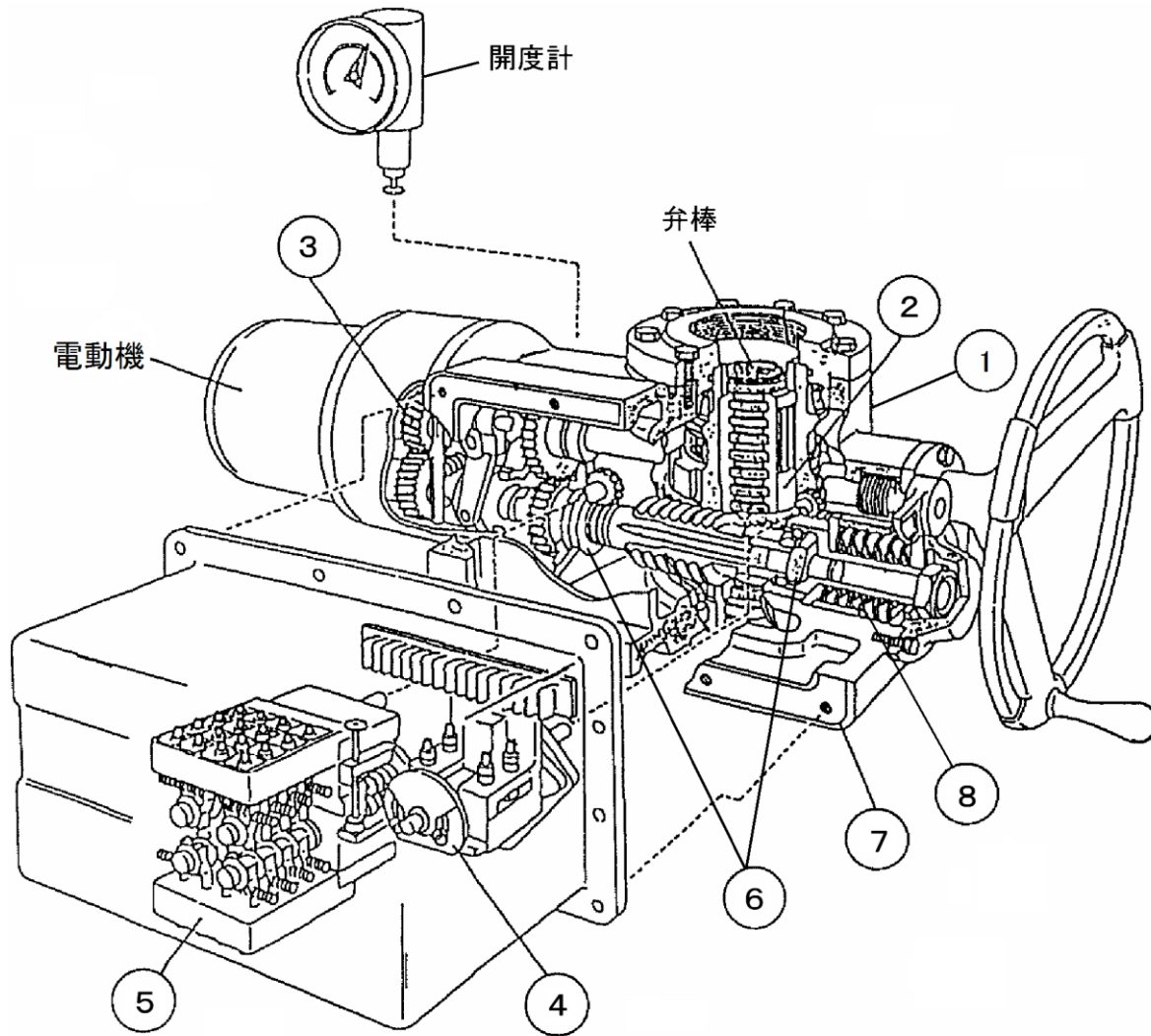
No.	部位
①	取付ボルト

図2.1-2(1/3) 泊2号炉 タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁
電動装置構造図



No.	部位	No.	部位
①	フレーム	⑤	電機子コイル
②	主極コア	⑥	整流子
③	主極コイル	⑦	口出線・接続部品
④	電機子コア	⑧	軸受（ころがり）

図2.1-2(2/3) 泊2号炉 タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁
電動装置（電動機）構造図



No.	部位
①	駆動装置ハウジング
②	ステムナット
③	歯車
④	トルクスイッチ
⑤	リミットスイッチ
⑥	軸受 (ころがり)
⑦	ガスケット
⑧	トルクスプリングバック

図2.1-2(3/3) 泊2号炉 タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置 (駆動装置) 構造概念図

表2.1-3 泊2号炉 タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁
電動装置主要部位の使用材料

	部位	材料
電動機 組立部品	フレーム	軟鋼
	主極コア	軟鋼
	主極コイル	銅, ポリアミドイミド (B種絶縁), ポリエステル
	電機子コア	珪素鋼板
	電機子コイル	銅, ポリアミドイミド (B種絶縁), ポリエステル
	整流子	銅合金
	口出線・接続部品	銅, シリコーンゴム
	軸受 (ころがり)	消耗品・定期取替品
駆動装置 組立部品	駆動装置ハウジング	鋳鉄
	ステムナット	銅合金鋳物
	歯車	低合金鋼, 銅合金鋳物
	トルクスイッチ	アルミニウム合金, 絶縁物 (フェノール樹脂)
	トルクスプリングパック	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	アルミニウム合金, 絶縁物 (フェノール樹脂)
	軸受 (ころがり)	軸受鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持部品	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-4 泊2号炉 タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁
電動装置の使用条件

定格出力	0.97kW
定格電圧	DC125V
周囲温度	約50℃*1

*1：主蒸気管室の設計温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

電動装置の機能である弁棒作動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 弁棒作動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

電動装置個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては、以下の事象がある。

- (1) 固定子コイル [余熱除去ライン入口止め弁電動装置]，主極コイル，電機子コイル [タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置] 及び口出線・接続部品 [共通] の絶縁低下

固定子コイル，主極コイル，電機子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり，機械的，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性があることから，経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) フレーム及び駆動装置ハウジングの腐食（全面腐食） [共通]

フレーム及び駆動装置ハウジングは鋳鉄又は軟鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時等の目視確認により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) ステムナットの摩耗 [共通]

ステムナットは弁棒との嵌合による摺動部があり、弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の寸法計測及び自動診断装置による機能試験により摩耗の進展傾向を確認することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 歯車及び軸受（駆動装置）の摩耗 [共通]

歯車及び軸受（駆動装置）は弁の開閉に伴う摺動により摩耗が想定される。

しかしながら、潤滑油により摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、自動診断装置による診断結果又は分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) トルクスイッチ及びリミットスイッチの導通不良 [共通]

トルクスイッチ及びリミットスイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は密閉されたハウジング内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

- (6) 固定子コア，回転子コア〔余熱除去ライン入口止め弁電動装置〕，主極コア及び電機子コア〔タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置〕の腐食（全面腐食）

固定子コア，回転子コア，主極コア及び電機子コアは軟鋼又は珪素鋼板であり，腐食が想定される。

しかしながら，固定子コア，回転子コア，主極コア及び電機子コアはエポキシモールド等により，腐食を防止している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (7) 整流子の摩耗〔タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置〕

整流子はブラシとの摺動部の摩耗が想定される。

しかしながら，整流子材はブラシ材より硬質であることから摩耗の可能性は小さい。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

軸受（電動機），ガスケット及びトルクスプリングパックは分解点検時に取替える消耗品であり，長期使用はせず取替を前提としていることから，高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 泊2号炉 余熱除去ライン入口止め弁電動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象									備考			
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他				
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化					
弁棒作動機能の確保	電動機組立部品		フレーム		△											
			固定子コア		珪素鋼板		▲									
			固定子コイル		銅, ポリイミド/ポリアミドイミド, エポキシ樹脂モールド					○						
			回転子コア		珪素鋼板		▲									
			口出線・接続部品		銅, シリコーンゴム					○						
			軸受（ころがり）	◎	－											
	駆動装置組立部品			駆動装置ハウジング		△										
				ステムナット		銅合金鋳物	△									
				歯車		低合金鋼, 銅合金鋳物	△									
				トルクスイッチ		ジアリルフタレート樹脂						△				
				トルクスプリングパック	◎	－										
				リミットスイッチ		ジアリルフタレート樹脂						△				
				軸受（ころがり）		軸受鋼	△									
		ガスケット	◎	－												
機器の支持			取付ボルト		△											

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/2) 泊2号炉 タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象									備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他		
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	絶縁 低下	導通 不良	特性 変化	材質 劣化			
弁棒作動 機能の確保	電動機 組立部品		軟鋼		△									
			軟鋼		▲									
			銅, ポリアミドイミド, ポリエステル					○						
			珪素鋼板		▲									
			銅, ポリアミドイミド, ポリエステル					○						
			銅合金	▲										
			銅, シリコーンゴム					○						
			◎	—										
	駆動装置 組立部品			铸铁		△								
				銅合金鋳物	△									
				低合金鋼, 銅合金鋳物	△									
				アルミニウム合金, 絶縁物						△				
			◎	—										
				アルミニウム合金, 絶縁物						△				
				軸受鋼	△									
	◎	—												
機器の支持			低合金鋼		△									

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 固定子コイル〔余熱除去ライン入口止め弁電動装置〕，主極コイル，電機子コイル〔タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置〕及び口出線・接続部品〔共通〕の絶縁低下

a. 事象の説明

固定子コイル，主極コイル，電機子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり，機械的，熱的，電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

事故時雰囲気内で機能要求がある余熱除去ライン入口止め弁電動装置については，絶縁物の温度，放射線，機械的及び設計基準事故時雰囲気による劣化を考慮した評価を，実機同等品による長期健全性試験において，判定基準を除き，IEEE Std.382-1996「IEEE Standard for Qualification of Actuators for Power-Operated Valve Assemblies With Safety-Related Functions for Nuclear Power Plants」（以下「IEEE Std.382-1996」という。）の規格に準じて実施しており，この結果に基づき長期間の健全性を評価した。

図2.3-1に長期健全性試験手順を，表2.3-1に長期健全性試験条件を示す。試験条件は，電動装置の絶縁物の60年間の運転期間を想定した温度，放射線及び機械的劣化条件を包絡している。

試験結果は，表2.3-2に示す通り判定基準を満足しており，60年間の通常運転後においても，絶縁機能を維持できると判断する。

また，事故時雰囲気内で機能要求がないタービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置については，密閉構造であり塵埃及び湿分が付着しにくい環境にある。また，連続運転ではなく間欠的に作動するもので，弁開閉に伴う作動時間も数十秒程度と短いことから，コイルの発熱による温度上昇は小さいと考える。更に，主極コイル，電機子コイル及び口出線・接続部品の絶縁は使用温度に比べて，十分余裕のある絶縁種（最高許容温度 B種：130℃）を選択して使用していることから，絶縁低下の可能性は小さいと考えるが，60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

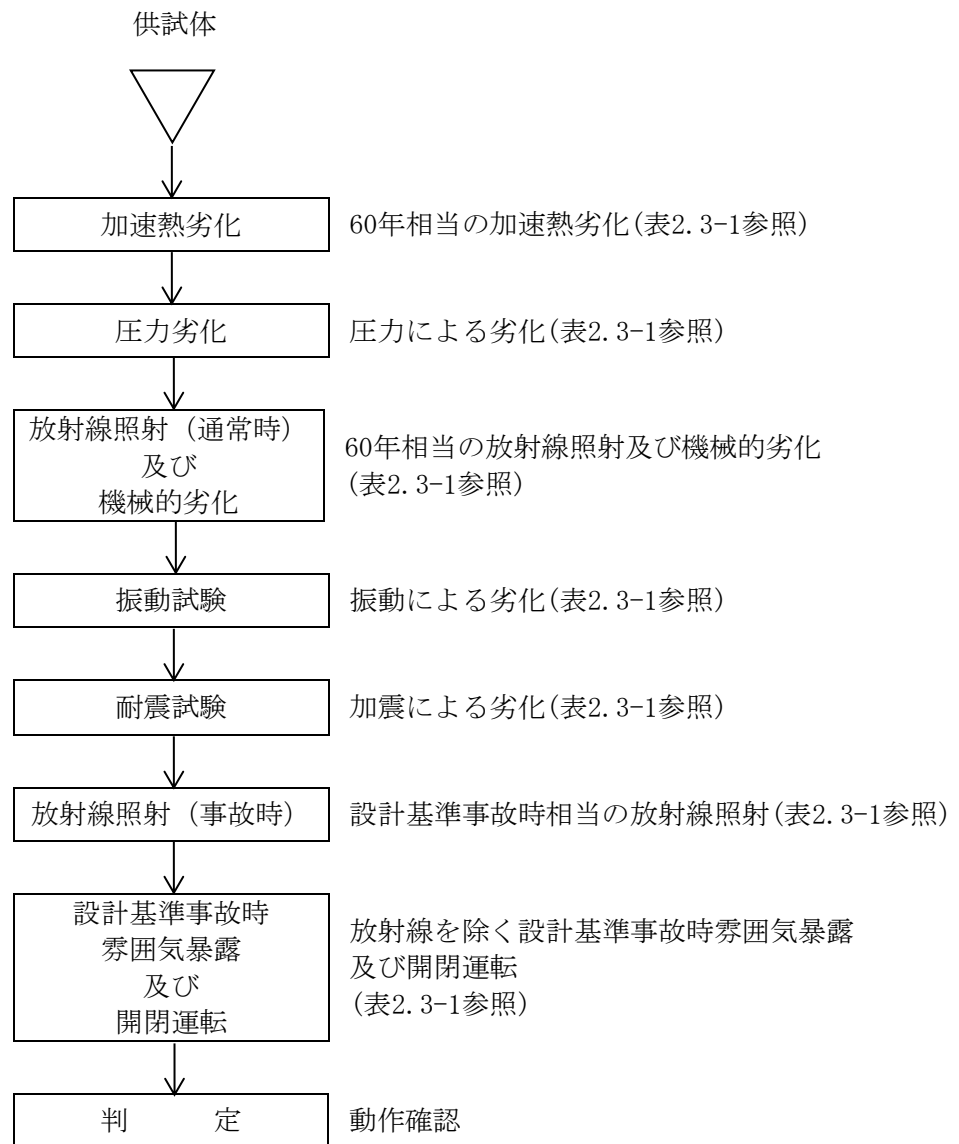


図2. 3-1 余熱除去ライン入口止め弁電動装置の長期健全性試験手順

表2.3-1 余熱除去ライン入口止め弁電動装置の絶縁低下に関する長期健全性試験条件*1

	試験条件	妥当性説明
加速熱劣化	130℃×475時間*3 及び 115℃×139時間*4	泊2号炉の原子炉格納容器内の環境条件に余裕をみた温度(75℃)で、60年間運転を包絡している。
圧力劣化	0.45MPa×3分×23回	泊2号炉の60年間運転を包絡している。
放射線照射 (通常時) 及び 機械的劣化	放射線照射量：500kGy (10kGy/h以下) 機械劣化：3,000回開閉操作	泊2号炉の60年間の通常時線量67kGy*2を包絡している。 泊2号炉の60年間の動作回数(約1,000回)を包絡している。
振動試験	0.75G-5~100~5Hz×135分	IEEE Std. 382-1996に基づく。
耐震試験	加振波形：正弦波 加速度：水平方向6G 鉛直方向6G	「日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針追補版(JEAG 4601-1991)」に基づく。
放射線照射 (事故時)	放射線照射量：1,500kGy (10kGy/h以下)	(冷温停止状態維持時では考慮不要)
設計基準事故時 雰囲気暴露 及び 開閉運転	温度：最高温度190℃ 圧力：最高圧力0.41MPa 時間：360時間 開閉往復運動回数：13回	(冷温停止状態維持時では考慮不要)

*1：電磁ブレーキ付き交流電動機の電動装置で実施

*2：原子炉格納容器内の空間線量率0.126Gy/h×(24h×365.25日×60年)

*3：電動機単体での加速熱劣化試験条件

*4：電動機等を組み込んだ弁電動装置一式での加速熱劣化試験条件

表2.3-2 余熱除去ライン入口止め弁電動装置の長期健全性試験結果

項目	判定(メーカー基準)
動作確認	良

② 現状保全

固定子コイル、主極コイル、電機子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、事故時雰囲気内で機能要求がある余熱除去ライン入口止め弁電動装置の固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、事故時雰囲気内で機能要求がないタービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置の主極コイル、電機子コイル及び口出線・接続部品については、絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

余熱除去ライン入口止め弁電動装置の固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

なお、より実機条件に即した電気・計装設備の長期健全性評価手法の構築に関する検討が国プロジェクト「電気・計装設備の健全性評価技術調査研究」で実施されており、今後その成果の反映を検討していく。

また、タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気ライン元弁電動装置の主極コイル、電機子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイル、口出線・接続部品[共通]及び電磁ブレーキ[電磁ブレーキ付き電動機の弁電動装置共通]の絶縁低下

事故時雰囲気内で機能要求がある弁電動装置の固定子コイル及び口出線・接続部品については、代表機器と同様な仕様、構造及び使用条件であり、健全性評価結果から判断して、絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。また、電磁ブレーキの絶縁物は交流電動機の固定子コイルと同じ絶縁物を使用しており、健全性評価結果から判断して、絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

なお、より実機条件に即した電気・計装設備の長期健全性評価手法の構築に関する検討が国プロジェクト「電気・計装設備の健全性評価技術調査研究」で実施されており、今後その成果の反映を検討していく。

事故時雰囲気内で機能要求がない弁電動装置については、密閉構造であり塵埃及び湿分が付着しにくい環境にある。また、連続運転ではなく間欠的に作動するもので、弁開閉に伴う作動時間も数十秒程度と短いことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考える。更に、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁は使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（最高許容温度 B種：130℃、H種：180℃、E種：120℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイル、口出線・接続部品及び電磁ブレーキの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.2.1 フレーム及び駆動装置ハウジングの腐食（全面腐食） [共通]

フレーム及び駆動装置ハウジングは鋳鉄又は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時等の目視確認により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 ステムナット及びドライブスリーブの摩耗 [ステムナット又はドライブスリーブのある弁電動装置共通]

ステムナット及びドライブスリーブは弁棒との嵌合による摺動部があり、弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、ステムナットについては、代表機器と仕様及び構造は同様であり、分解点検時の寸法計測及び自動診断装置又は動作確認による機能試験により摩耗の進展傾向を確認することで機器の健全性を維持している。

また、ドライブスリーブについては、潤滑油により摩耗を防止するとともに、動作確認により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 歯車及び軸受（駆動装置）の摩耗 [共通]

歯車及び軸受（駆動装置）は弁の開閉に伴う摺動により摩耗が想定される。

しかしながら、潤滑油により摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、自動診断装置による診断結果又は分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 トルクスイッチ及びリミットスイッチの導通不良 [共通]

トルクスイッチ及びリミットスイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は密閉されたハウジング内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器の動作確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは低合金鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.2.6 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

固定子コア及び回転子コアは軟鋼又は珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはエポキシモールド等により、腐食を防止している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 電磁ブレーキのライニングのはく離 [電磁ブレーキ付き電動機の弁電動装置共通]

2008年7月、敦賀2号炉のタービン動補助給水ポンプ起動入口弁の直流電動機用電磁ブレーキにおいて、電磁ブレーキのライニングのはく離が発生しているが、この事象は、当該弁が外気の影響を受ける高湿度エリアに設置されていたことに伴い発生した結露水がライニングの接着面に浸透し、接着力を低下させたものである。

泊2号炉の弁電動装置は高湿度環境にはなく、結露水が発生しやすい環境にならないことから、はく離の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、順次、ノンアスベスト仕様のブレーキライニングに取替を実施している。

2.2 空気作動装置

[対象機器]

- ① 1次冷却系統空気作動弁
- ② 化学体積制御系統空気作動弁
- ③ 安全注入系統空気作動弁
- ④ 余熱除去系統空気作動弁
- ⑤ 1次系試料採取系統空気作動弁
- ⑥ 主蒸気系統空気作動弁
- ⑦ 蒸気発生器ブローダウン系統空気作動弁
- ⑧ 換気空調系統空気作動弁
- ⑨ 気体廃棄物処理系統空気作動弁
- ⑩ 液体廃棄物処理系統空気作動弁
- ⑪ 制御用空気系統空気作動弁
- ⑫ 消火系統空気作動弁
- ⑬ 炉内中性子束監視装置空気作動弁

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	10
3. 代表機器以外への展開	17
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	17

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊2号炉で使用されている弁を駆動する空気作動装置の主な仕様を表1-1に示す。

これらの空気作動装置を型式及び設置場所の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

空気作動装置は、ダイヤフラム型とシリンダ型に分かれるが、いずれもダイヤフラム又はシリンダとばねから成る駆動部と付属品の組み合わせにより構成されている。使用されている各構成部位は空気作動装置の仕様に依存せず、構造、材料等が同等であることから、空気作動装置の経年劣化に対する健全性評価はいずれの仕様においても同等として評価する。

したがって、表1-1に示す空気作動装置について、型式及び設置場所を分離基準として考えると、合計2つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：ダイヤフラム型，設置場所：屋内

ダイヤフラム型で屋内設置の空気作動装置の中から、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とし、かつ主要構成部位が多い主蒸気逃がし弁の空気作動装置を代表機器とする。

(2) 型式：シリンダ型，設置場所：屋内

シリンダ型で屋内設置の空気作動装置の中から、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とし、かつ主要構成部位が多い主蒸気隔離弁の空気作動装置を代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 空気作動装置の主な仕様

分離基準		台数	仕様	選定基準			選定	代表弁	選定理由
型式	設置場所			口径 (B)	重要度*1	周囲温度			
空気作動弁用 ダイヤフラム型 空気作動装置	屋内	61	連続制御 ON-OFF制御	3/8~6	MS-1, MS-2	約26~50℃	◎	主蒸気逃がし弁 (連続制御, 6B)	口径, 主要構成部位
空気作動弁用 シリンダ型 空気作動装置	屋内	49	連続制御 ON-OFF制御	3/8~40	MS-1, MS-2	約26~50℃	◎	主蒸気隔離弁 (ON-OFF制御, 28B)	口径, 主要構成部位

*1:機能は最上位の機能を示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の2種類の空気作動装置について技術評価を実施する。

- ① 主蒸気逃がし弁空気作動装置
- ② 主蒸気隔離弁空気作動装置

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 主蒸気逃がし弁空気作動装置

(1) 構造

泊2号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置はダイヤフラム型空気作動装置であり、2台設置されている。

ダイヤフラム型空気作動装置は、ばね復帰型の空気操作ダイヤフラム、電磁弁、フィルター付減圧弁、リミットスイッチ等で構成されており、空気圧によりダイヤフラムを加圧することで、弁を駆動させる構造としている。

駆動用の空気には、乾燥した制御用空気を用いている。

泊2号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

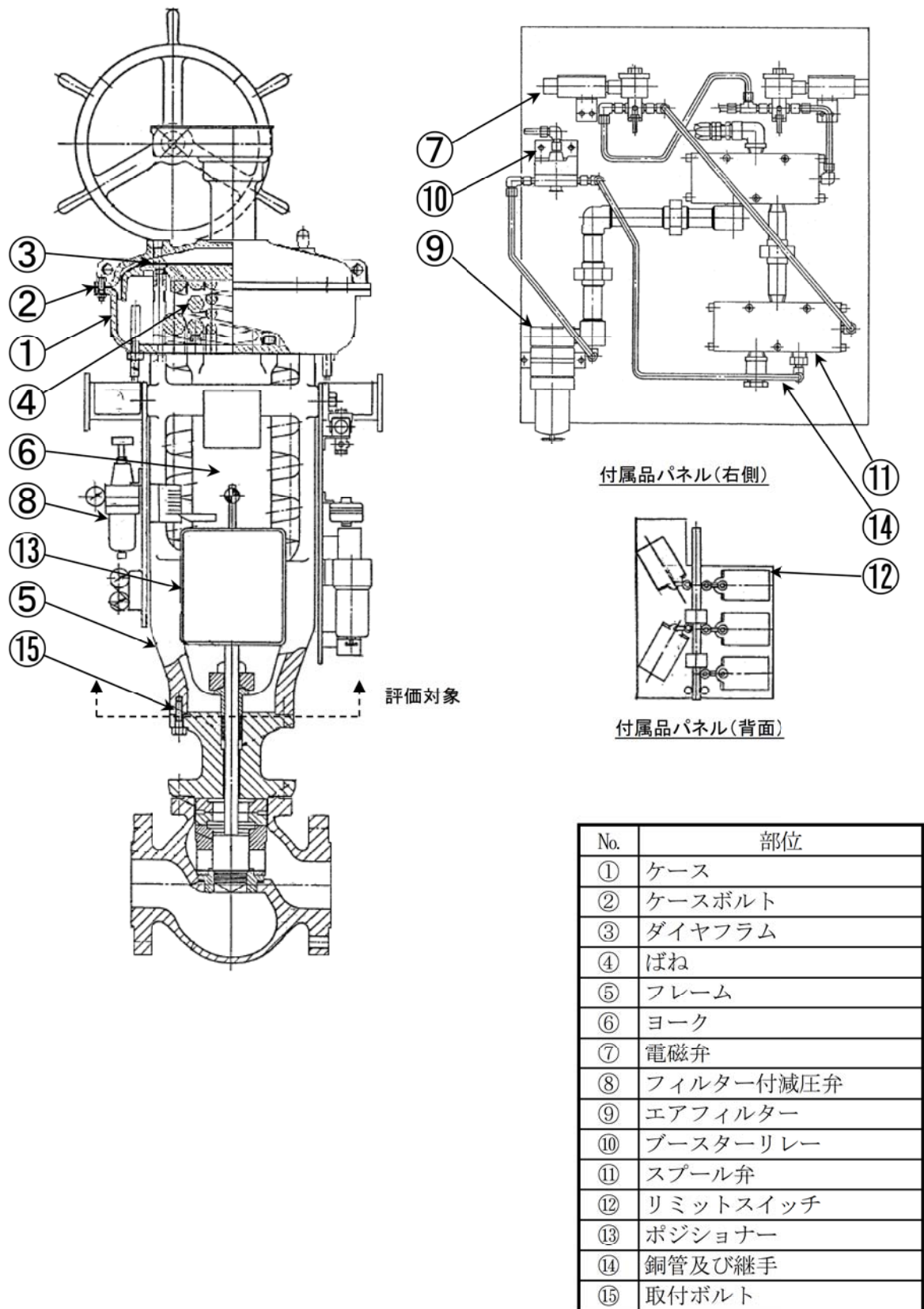


図2.1-1 泊2号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置構造図

表2.1-1 泊2号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置主要部位の使用材料

部位		材料
耐圧 組立品	ケース	炭素鋼鋳鋼
	ケースボルト	低合金鋼
	ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
駆動力 伝達部品	ばね	ばね鋼
	フレーム	炭素鋼鋳鋼
	ヨーク	炭素鋼鋳鋼
付属品	電磁弁	消耗品・定期取替品
	フィルター付減圧弁	消耗品・定期取替品
	エアフィルター	消耗品・定期取替品
	ブースターリレー	消耗品・定期取替品
	スプール弁	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	ポジショナー	アルミニウム合金, 炭素鋼
	銅管及び継手	銅合金
支持部品	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-2 泊2号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置の使用条件

空気圧力	約0.7MPa
定格電圧 (電磁弁電源)	DC125V
周囲温度	約50℃*1

*1：主蒸気管室の設計温度

2.1.2 主蒸気隔離弁空気作動装置

(1) 構造

泊2号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置はシリンダ型空気作動装置であり、2台設置されている。

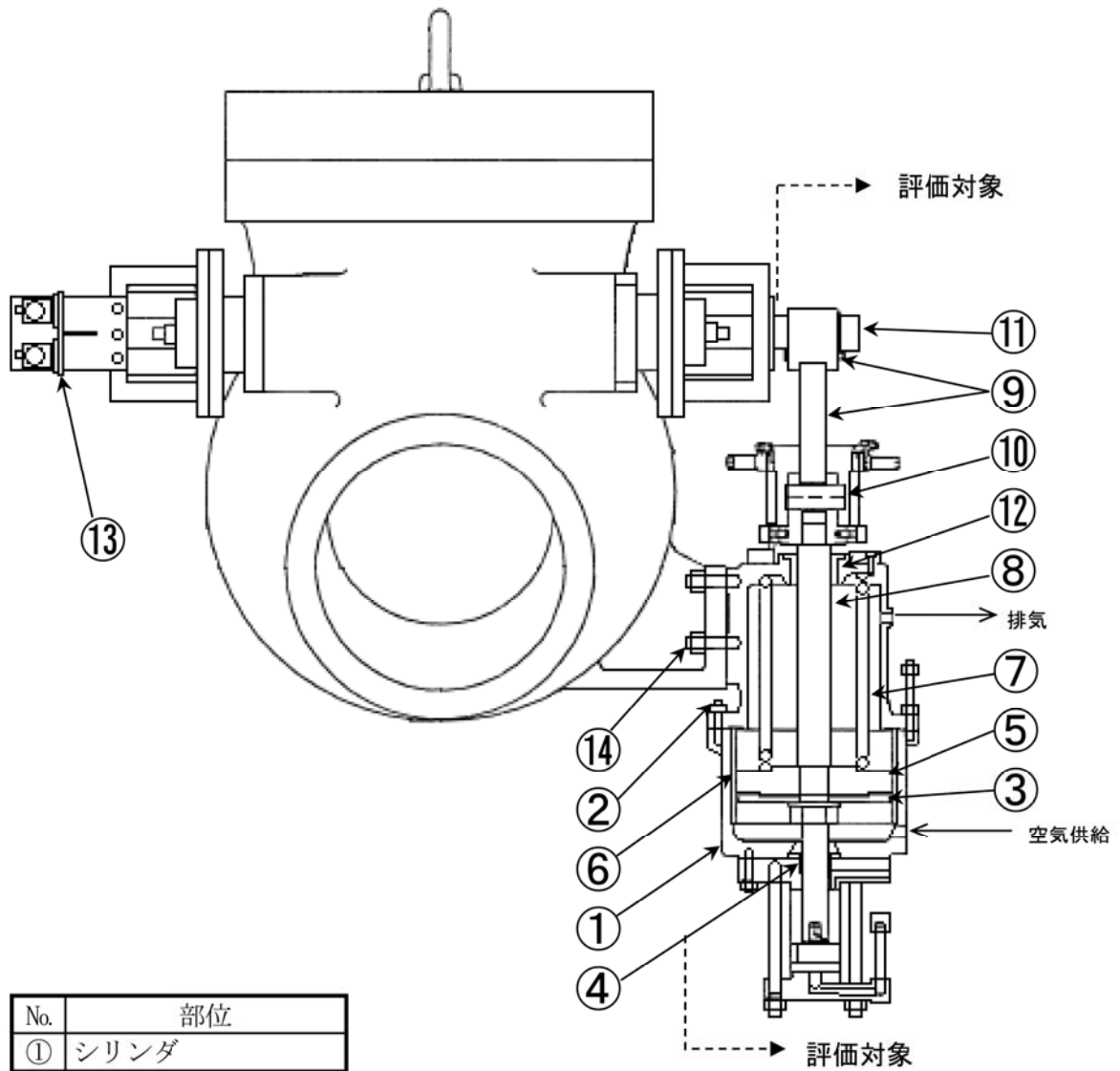
シリンダ型空気作動装置は、ばね復帰型の空気操作シリンダ、電磁弁、リミットスイッチ等で構成されており、空気圧によりシリンダを加圧することで、弁を駆動させる構造としている。

駆動用の空気には、乾燥した制御用空気を用いている。

泊2号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部位
①	シリンダ
②	シリンダボルト
③	パッキン
④	Oリング
⑤	ピストン
⑥	ピストンガイド
⑦	ばね
⑧	ピストンロッド
⑨	レバー
⑩	ピン
⑪	ナット
⑫	ブッシュ
⑬	リミットスイッチ
⑭	取付ボルト

図2.1-2(1/2) 泊2号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置構造図

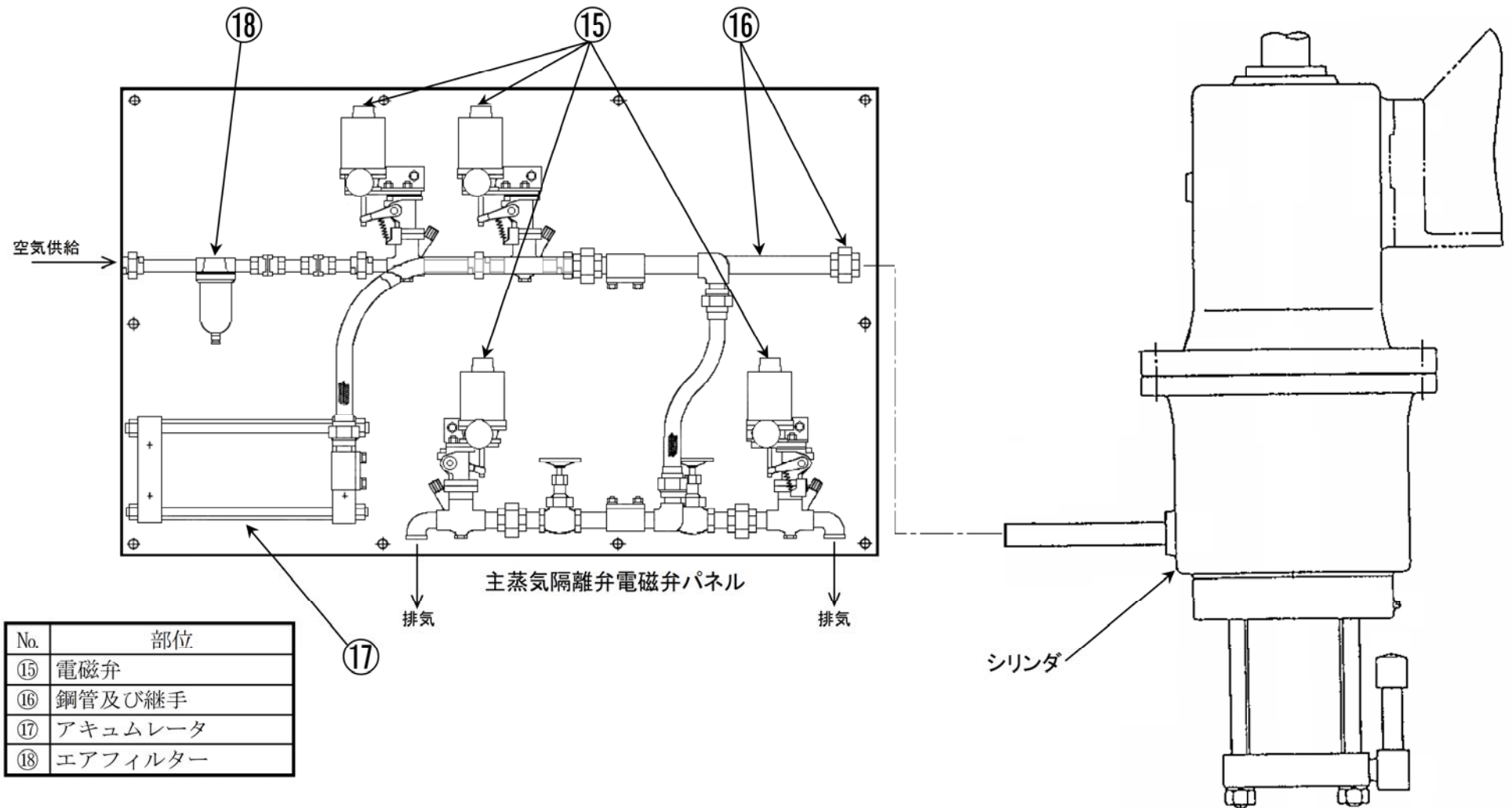


図2.1-2(2/2) 泊2号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置構造図

表2.1-3 泊2号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置主要部位の使用材料

部位		材料
耐圧 組立品	シリンダ	炭素鋼鋳鋼
	シリンダボルト	低合金鋼, 炭素鋼
	パッキン	消耗品・定期取替品
	Oリング	消耗品・定期取替品
駆動力 伝達部品	ピストン	炭素鋼
	ピストンガイド	炭素鋼
	ばね	ばね鋼
	ピストンロッド	炭素鋼
	レバー	炭素鋼
	ピン	ステンレス鋼
	ナット	炭素鋼
	ブッシュ	消耗品・定期取替品
付属品	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	電磁弁	消耗品・定期取替品
	鋼管及び継手	炭素鋼
	アキュムレータ	炭素鋼
	エアフィルター	消耗品・定期取替品
支持部品	取付ボルト	低合金鋼, 炭素鋼

表2.1-4 泊2号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置の使用条件

空気圧力	約0.7MPa
定格電圧 (電磁弁電源)	DC125V
周囲温度	約50°C*1

*1：主蒸気管室の設計温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

空気作動装置の機能である弁棒作動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 弁棒作動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

空気作動装置個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

- (1) ケース、フレーム、ヨーク〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕、シリンダ、レバー、鋼管及び継手、アキュムレータ〔主蒸気隔離弁空気作動装置〕の腐食（全面腐食）

ケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管、継手及びアキュムレータは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、内面については、内部流体が制御用空気であり、清浄な乾燥空気雰囲気であるため、腐食が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (2) ケースボルト [主蒸気逃がし弁空気作動装置] , シリンダボルト, ナット [主蒸気隔離弁空気作動装置] 及び取付ボルト [共通] の腐食 (全面腐食)

ケースボルト, シリンダボルト, ナット及び取付ボルトは低合金鋼又は炭素鋼であり, 腐食が想定される。

しかしながら, 分解点検時にボルト・ナットの手入れを行い, 機器の健全性を維持している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) ばねの変形 (応力緩和) [共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより, 変形 (応力緩和) が想定される。

しかしながら, ばねに発生する応力は弾性範囲であり, 日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて, 当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお, 機器点検時の特性試験により, 機器の健全性を確認している。

- (4) ポジショナーの摩耗 [主蒸気逃がし弁空気作動装置]

ポジショナーは弁の開閉に伴う作動により, パイロットバルブ等の摩耗が想定される。

しかしながら, 空気作動弁はON-OFF制御の場合は作動頻度が少なく, 連続制御の場合も弁開度はほぼ一定であり, 弁の動きはゆるやかで開弁の程度も小さい。

また, ポジショナーは数十万回の作動試験を行い, 耐久性を確認している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお, 機器点検時の特性試験により, 機器の健全性を確認している。

- (5) 銅管及び継手の疲労割れ [主蒸気逃がし弁空気作動装置]

銅管及び継手は弁開閉時の振動及び配管振動により, 疲労割れが想定される。

しかしながら, 銅管及び継手は設計時に振動による影響を考慮している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお, 分解点検時の目視確認により, 機器の健全性を確認している。

(6) ピストンとピストンガイド，ピストンロッドとブッシュ，レバーとピンの摩耗
[主蒸気隔離弁空気作動装置]

ピストンとピストンガイド，ピストンロッドとブッシュ，レバーとピンは開閉作動による摺動により，摩耗が想定される。

しかしながら，ピストンとピストンガイドの間にはクリアランスがあり実際には接触しておらず，ピストンとパッキン押え板により固定されたゴム製のパッキンがピストンガイドに接触するようにしているため，ピストンやピストンガイドに摩耗が発生することはない。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

同様に，ピストンロッドとブッシュについては硬度差を設けてピストンロッドの摩耗を防止している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

更に，レバーとピンの摺動部には銅合金製のブッシュを設け，硬度差を設けてレバーとピンの摩耗を防止しており，主蒸気隔離弁の動作頻度は年に数回と少ない。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお，ピストン，ピストンガイド，ピストンロッド，レバー及びピンは，分解点検時の目視確認により，機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち，日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(7) ヨーク（弁棒接続部）の摩耗 [主蒸気逃がし弁空気作動装置]

ヨーク（弁棒接続部）は，弁の開閉動作に伴う摩耗が想定される。

しかしながら，弁棒はヨーク（弁棒接続部）にねじ込みキャップスクリューで固定する構造としており，接続部のゆるみ等によって摩耗が発生する可能性はないことから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

パッキン、Oリング及びフィルター付減圧弁は必要時に取替える消耗品である。また、ダイヤフラム、電磁弁、エアフィルター、ブースターリレー、スプール弁及びリミットスイッチは定期取替品であるため、長期間使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

ブッシュは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 泊2号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象									備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化		
弁棒作動機能の確保	ケース		炭素鋼鋳鋼		△								*1：変形 (応力緩和) *2：弁棒接続部の摩耗
	ケースボルト		低合金鋼		△								
	ダイヤフラム	◎	—										
	ばね		ばね鋼									△*1	
	フレーム		炭素鋼鋳鋼		△								
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼	▲*2	△								
	電磁弁	◎	—										
	フィルター付減圧弁	◎	—										
	エアフィルター	◎	—										
	ブースターリレー	◎	—										
	スプール弁	◎	—										
	リミットスイッチ	◎	—										
	ポジションナー			アルミニウム合金, 炭素鋼	△								
銅管及び継手			銅合金			△							
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼		△								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/2) 泊2号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象									備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化		
弁棒作動機能の確保	シリンダ		炭素鋼鋳鋼		△								*1：変形 (応力緩和)
	シリンダボルト		低合金鋼, 炭素鋼		△								
	パッキン	◎	—										
	Oリング	◎	—										
	ピストン		炭素鋼	△									
	ピストンガイド		炭素鋼	△									
	ばね		ばね鋼								△*1		
	ピストンロッド		炭素鋼	△									
	レバー		炭素鋼	△	△								
	ピン		ステンレス鋼	△									
	ナット		炭素鋼		△								
	ブッシュ	◎	—										
	リミットスイッチ	◎	—										
	電磁弁	◎	—										
	鋼管及び継手		炭素鋼		△								
	アキュムレータ		炭素鋼		△								
エアフィルター	◎	—											
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼, 炭素鋼		△								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.1.1 ケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管及び継手、アキュムレータの腐食（全面腐食）〔炭素鋼のケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管及び継手、アキュムレータを使用している空気作動装置共通〕

炭素鋼のケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管及び継手、アキュムレータは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、内面については、内部流体が制御用空気であり、清浄な乾燥空気雰囲気であるため、腐食が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.2 ケースボルト、シリンダボルト、ナット及び取付ボルトの腐食（全面腐食）〔炭素鋼又は低合金鋼のケースボルト、シリンダボルト、ナット及び取付ボルトのある空気作動装置共通〕

低合金鋼又は炭素鋼のケースボルト、シリンダボルト、ナット及び取付ボルトは、腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時にボルト・ナットの手入れを行い、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 ばねの変形（応力緩和）〔共通〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の特性試験により、機器の健全性を確認している。

3.1.4 ポジショナーの摩耗〔ポジショナーのある空気作動装置共通〕

ポジショナーは弁の開閉に伴う作動により、パイロットバルブ等の摩耗が想定される。

しかしながら、空気作動弁はON-OFF制御の場合は作動頻度が少なく、連続制御の場合も弁開度はほぼ一定であり、弁の動きはゆるやかで開弁の程度も小さい。

また、ポジショナーは数十万回の作動試験を行い、耐久性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の特性試験により、機器の健全性を確認している。

3.1.5 銅管及び継手の疲労割れ [銅管及び継手のある空気作動装置共通]

銅管及び継手は弁開閉時の振動及び配管振動により、疲労割れが想定される。

しかしながら、銅管及び継手は設計時に振動による影響を考慮している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.6 ピストンとピストンガイド又はシリンダ、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンの摩耗 [シリンダ型空気作動装置]

ピストンとピストンガイド又はシリンダ、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンは開閉作動による摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、ピストンとピストンガイドの間にはクリアランスがあり実際には接触しておらず、ピストンとパッキン押え板により固定されたゴム製のパッキンがピストンガイドに接触するようにしているため、ピストンやピストンガイドに摩耗が発生することはない。

ピストンガイドを設置していない機器は、ピストンとシリンダの摺動部に消耗品であるOリングを装着しており、ピストンとシリンダの摺動による摩耗を防止している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

同様に、ピストンロッドとブッシュについては、硬度差を設けてピストンロッドの摩耗を防止しており、ブッシュについては分解点検時に目視により状態を確認し、取替を前提として適切に対処している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

更に、レバーとピンの摺動部にはベアリング又はブッシュを設置して摩耗を防止しており、動作頻度は年に数回と少ない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、ピストン、ピストンガイド、シリンダ、ピストンロッド、レバー及びピンは、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.3 2)に該当する事象のうち，日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.1.7 ヨーク（弁棒接続部）の摩耗 [共通]

ヨーク（弁棒接続部）は，弁の開閉動作に伴う摩耗が想定される。

しかしながら，弁棒はヨーク（弁棒接続部）にねじ込みキャップスクリューで固定する構造，ステムをねじ込んだコネクタにねじ込み固定する構造，あるいは，ステムにねじ込みロックナットで固定する構造としており，接続部のゆるみ等によって摩耗が発生する可能性はないことから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

泊発電所 2 号炉

炉内構造物の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

北海道電力株式会社

本技術評価書は泊発電所2号炉（以下、泊2号炉という。）で使用されている主要な炉内構造物の高経年化に係わる技術評価についてまとめたものである。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考え。表1に評価対象部位を示す。

なお、冷温停止状態維持を前提とした本評価書では、「特別な保全計画」を含め、現状保全では「定期的」と記載するとともに、その上で点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

なお、断続的運転を前提とした場合には発生・進展が想定されるが、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されない経年劣化事象については、耐震安全性評価を実施するために、◆印を付けて高経年化対策上着目すべき経年劣化事象又は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と区別した上で、技術評価（本評価書においては、保守的に運転開始後60年時点までの断続的運転を行うことを前提としている）を行った。

また、制御棒は「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

表 1 泊 2 号炉 炉内構造物の評価対象部位一覧

部位名称 (個数)	重要度*1
上部炉心板 (1)	PS-1
上部燃料集合体案内ピン (242)	PS-1
上部炉心支持柱 (28)	PS-1
上部炉心支持板 (1)	PS-1
制御棒クラスタ案内管 (33)	MS-1
支持ピン (66)	MS-1
下部炉心板 (1)	PS-1
下部燃料集合体案内ピン (242)	PS-1
下部炉心支持柱 (60)	PS-1
下部炉心支持板 (1)	PS-1
炉心そう (1)	PS-1
炉心バップル (1組)	PS-1
炉心バップル取付板 (8組)	PS-1
バップルフォーマボルト (800)	PS-1
バレルフォーマボルト (576)	PS-1
熱遮へい体 (4組)	PS-1
熱遮へい体取付ボルト (128)	PS-1
押えリング (1)	PS-1
炉内計装用シングルチューブ (36)	PS-2

*1：機能は最上位の機能を示す。

炉内構造物

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 炉内構造物の技術評価	2
2.1 構造, 材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	27

1. 技術評価対象機器

泊2号炉で使用されている炉内構造物の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 泊2号炉 炉内構造物の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)
炉内構造物 (1)	PS-1	約17.2	約343

*1：機能は最上位の機能を示す。

2. 炉内構造物の技術評価

2.1 構造，材料及び使用条件

(1) 構造

泊2号炉の炉内構造物は，炉心の支持，1次冷却材の流路形成・配分等の機能を有し，上部炉内構造物と下部炉内構造物とに分かれており，それぞれ一体として原子炉容器から取り外すことができる構造となっている。

炉内構造物は大部分がステンレス鋼であり，一部ニッケル基合金を用いている。

上部炉内構造物と下部炉内構造物は燃料集合体を上下からはさむ形で支持しており，それら自身は原子炉容器フランジ部で，押えリングをはさむ形で支持されている。

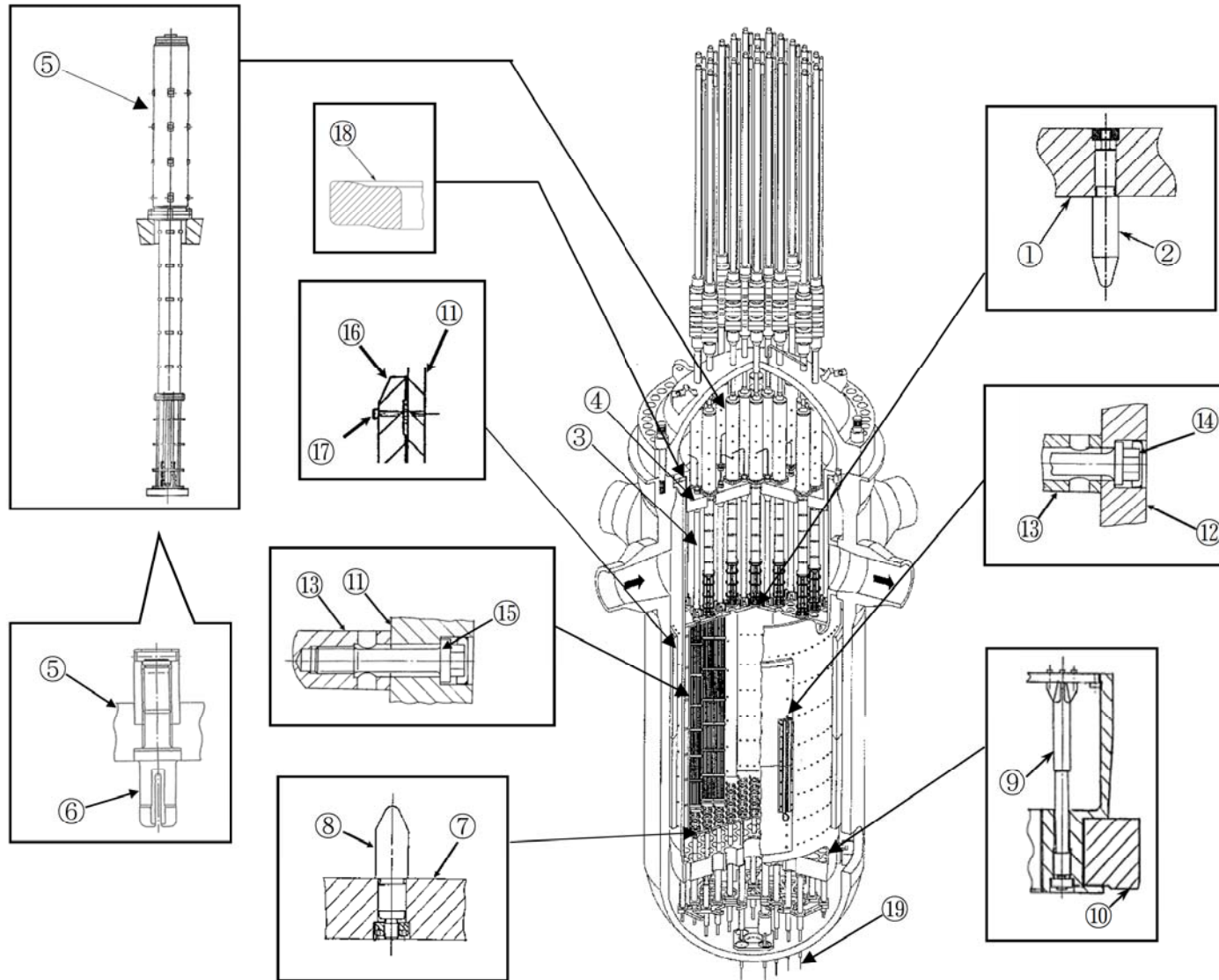
上部炉内構造物は，上部炉心支持板，上部炉心支持柱及び上部炉心板の組立体である上部炉心支持構造物に，制御棒クラスタ案内管等の構造物に取り付けられたものである。制御棒クラスタ案内管は上部炉心支持板にボルト固定され，支持ピンが上部炉心板にはまり込む構造となっている。

下部炉内構造物は，炉心そう，下部炉心支持板，下部炉心支持柱及び下部炉心板の組立体である下部炉心支持構造物に，炉心バッフル，熱遮へい体等が取り付けられたものである。

泊2号炉の炉内構造物の構造を図2.1-1～図2.1-9に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の炉内構造物の使用材料及び使用条件を表2.1-1，表2.1-2に示す。



No.	部位
	(上部炉内構造物)
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン
③	上部炉心支持柱
④	上部炉心支持板
⑤	制御棒クラスタ案内管
⑥	支持ピン
	(下部炉内構造物)
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン
⑨	下部炉心支持柱
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉心ろう
⑫	炉心バップル
⑬	炉心バップル取付板
⑭	バップルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト
⑯	熱遮へい体
⑰	熱遮へい体取付ボルト
	(その他)
⑱	押えリング
⑲	炉内計装用シンプルチューブ

図2.1-1 泊2号炉 炉内構造物全体図

No.	部位
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン
③	上部炉心支持柱
④	上部炉心支持板
⑤	制御棒クラスタ案内管
⑥	支持ピン

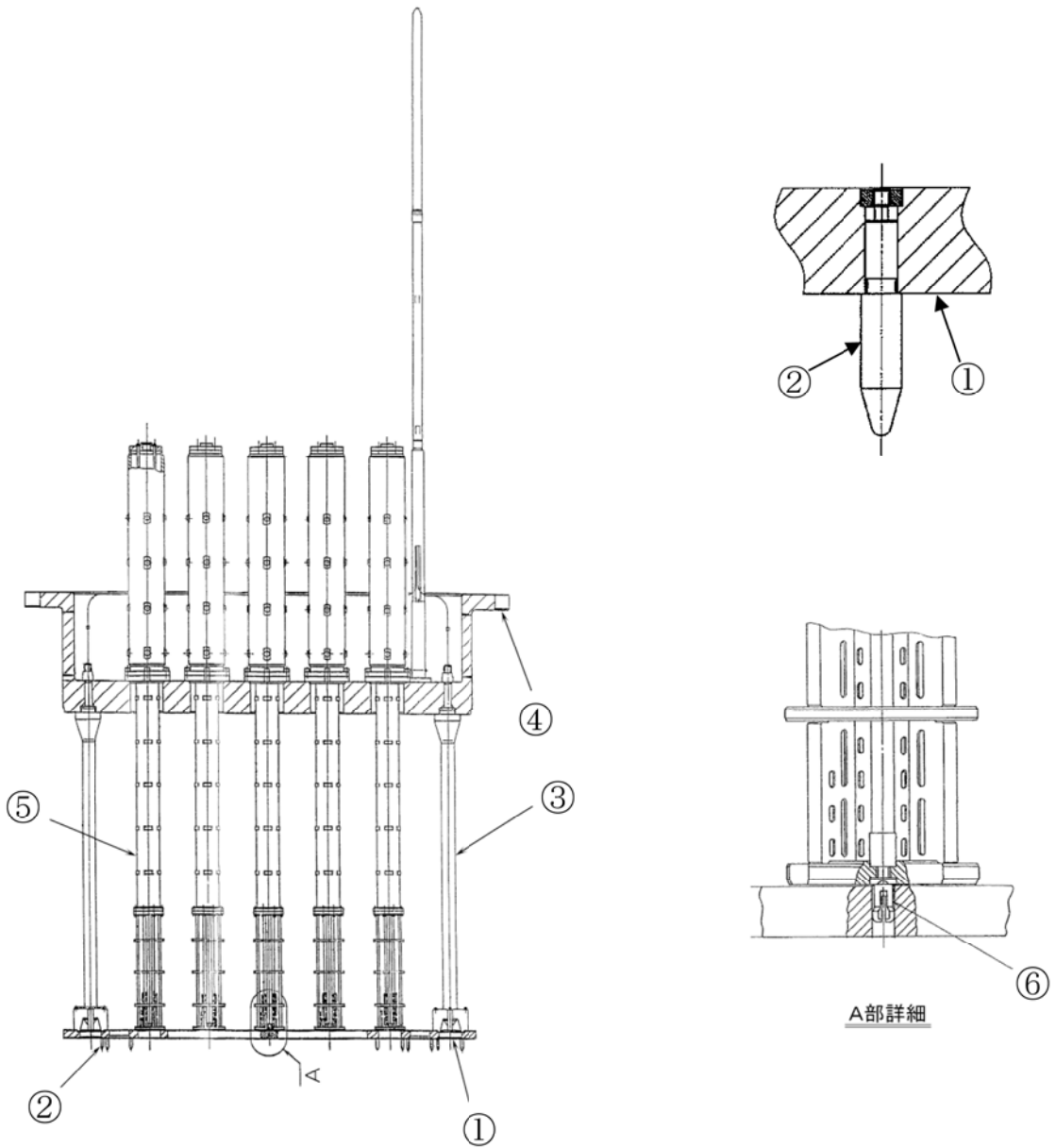


図2.1-2 泊2号炉 炉内構造物・上部炉内構造物構造図

No.	部位
①	上部炉心板

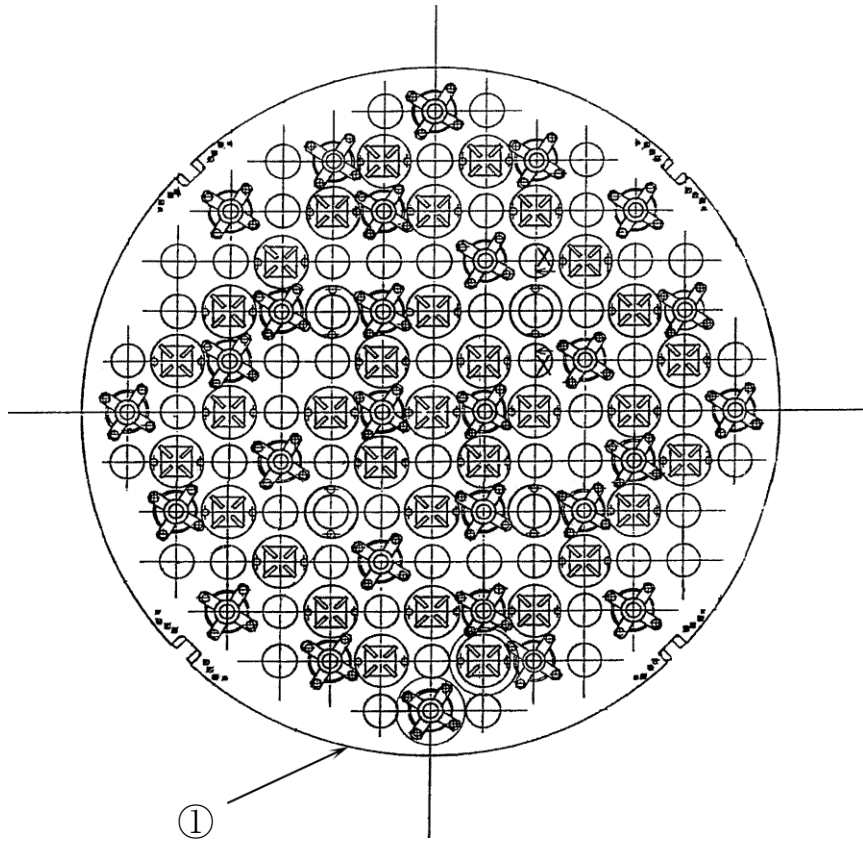


图2.1-3 泊2号炉 上部炉心板构造图

No.	部位
④	上部炉心支持板

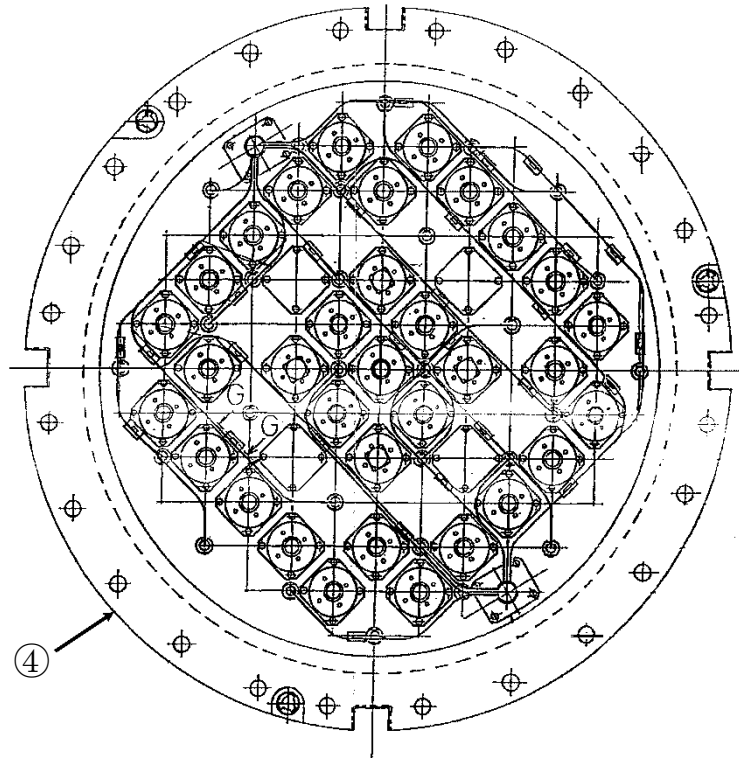


图2.1-4 泊2号炉 上部炉心支持板組立图

No.	部位
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン
⑨	下部炉心支持柱
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉心そう
⑫	炉心バップル
⑬	炉心バップル取付板
⑭	バップルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト
⑯	熱遮へい体
⑰	熱遮へい体取付ボルト

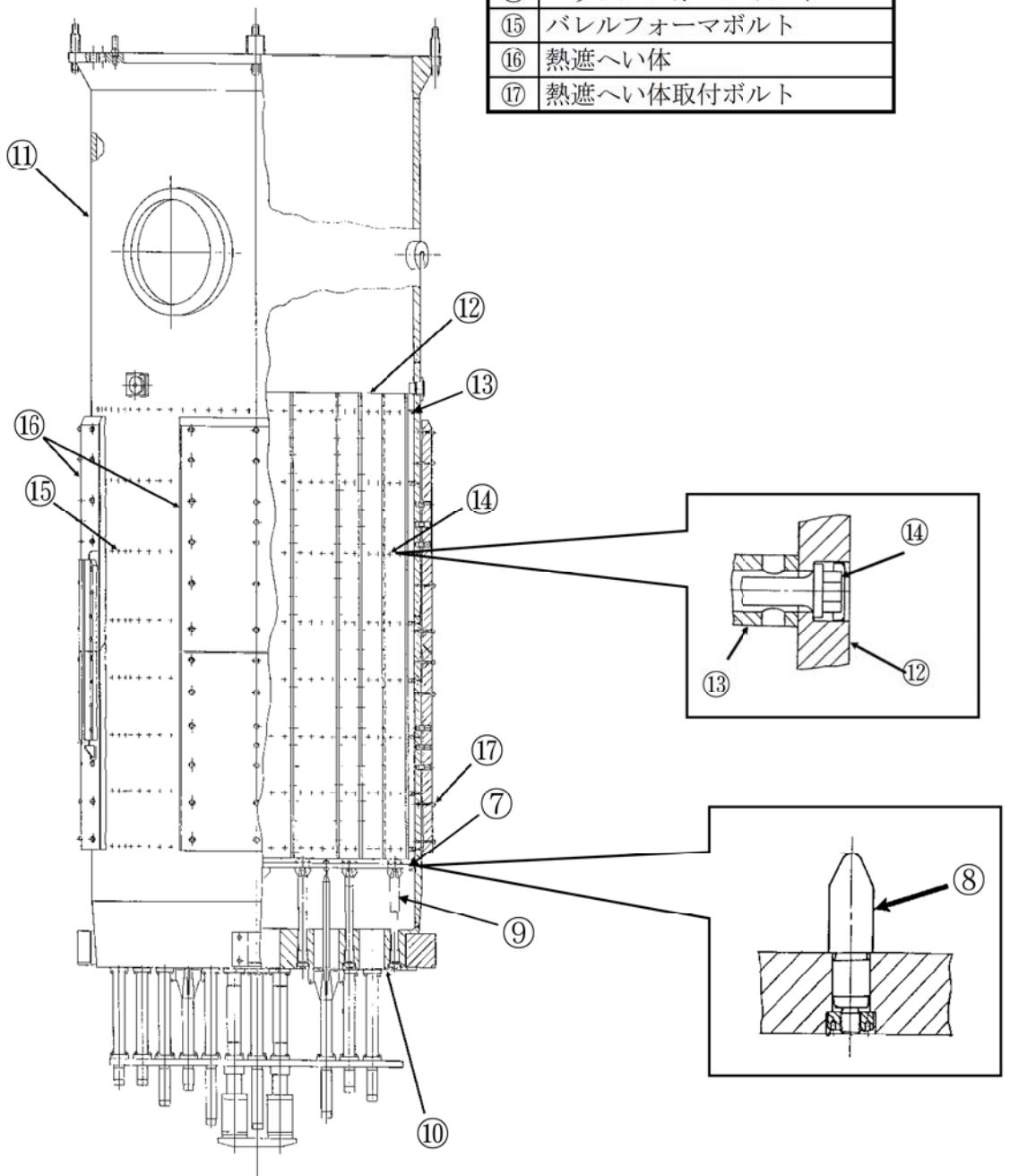


図2.1-5 泊2号炉 炉内構造物・下部炉内構造物構造図

No.	部位
⑦	下部炉心板

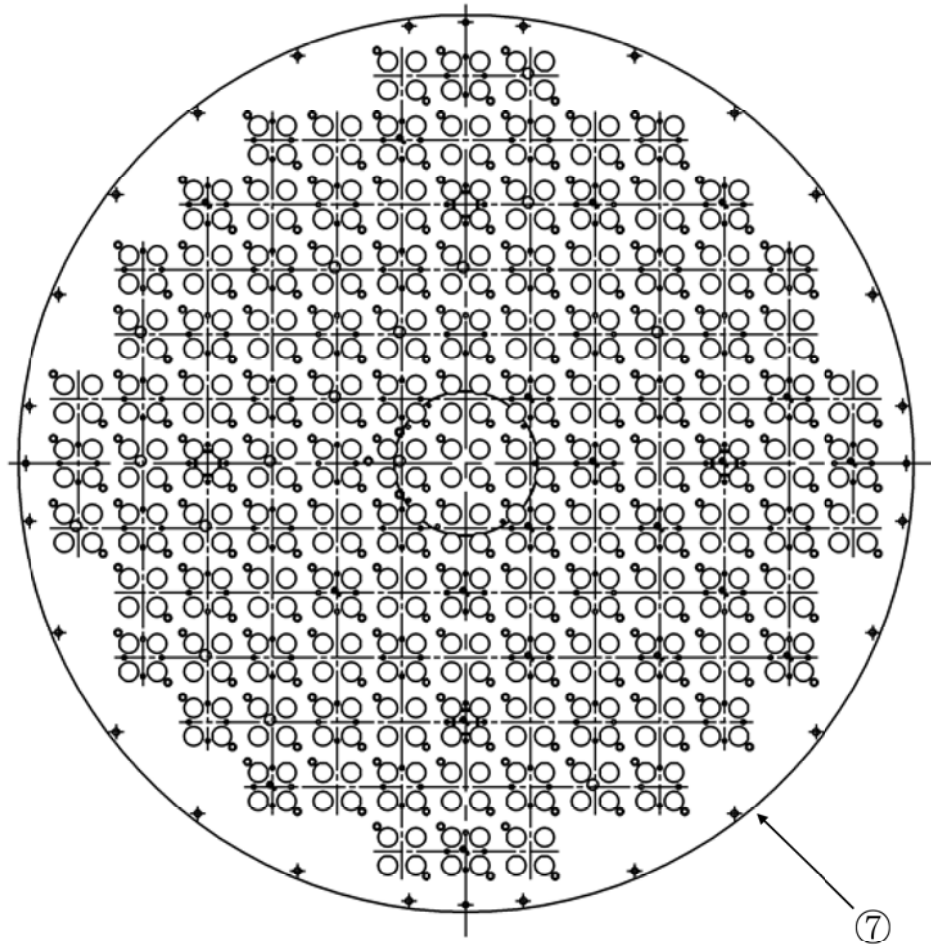
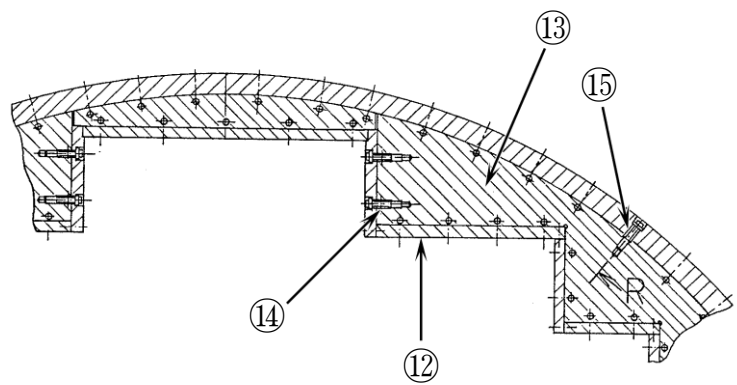
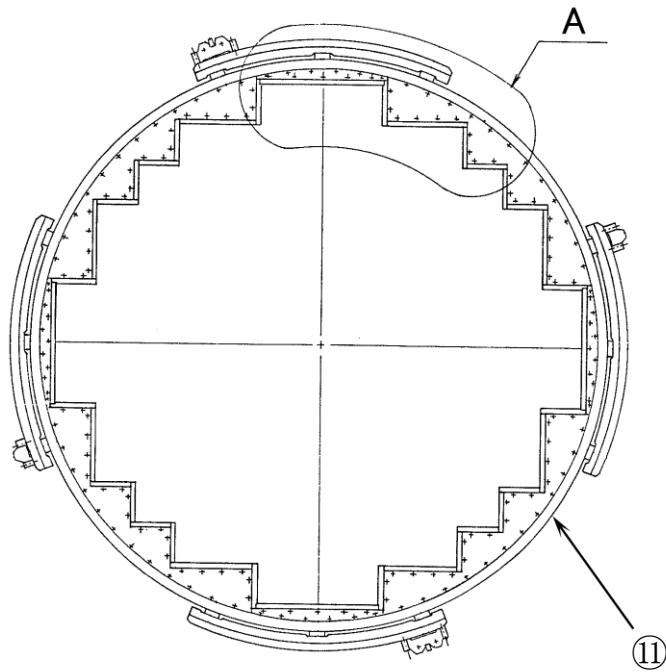


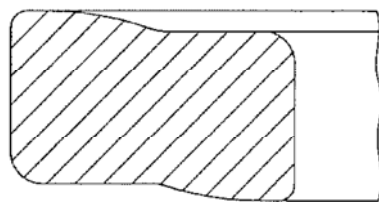
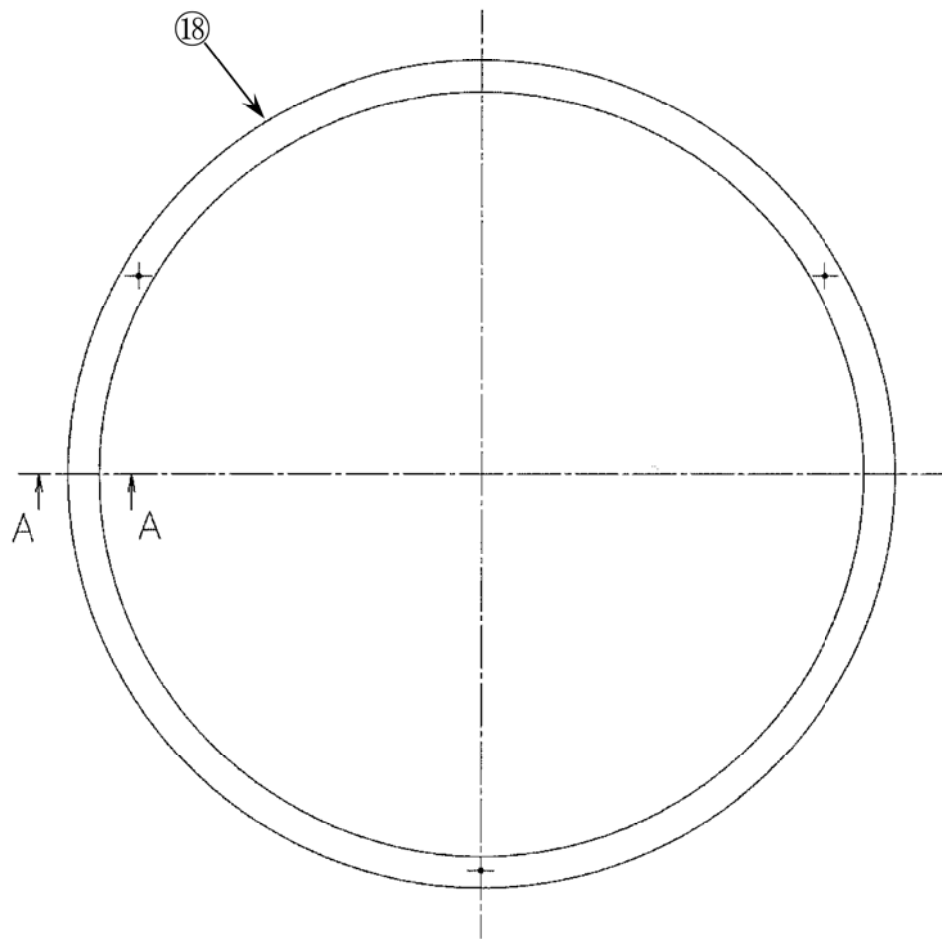
图2.1-6 泊2号炉 下部炉心板构造图



A部詳細

No.	部位
⑪	炉心そう
⑫	炉心バップル
⑬	炉心バップル取付板
⑭	バップルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト

図2.1-7 泊2号炉 炉心バップル構造図



断面 A A

No.	部位
⑱	押えリング

図2.1-8 泊2号炉 押えリング構造図

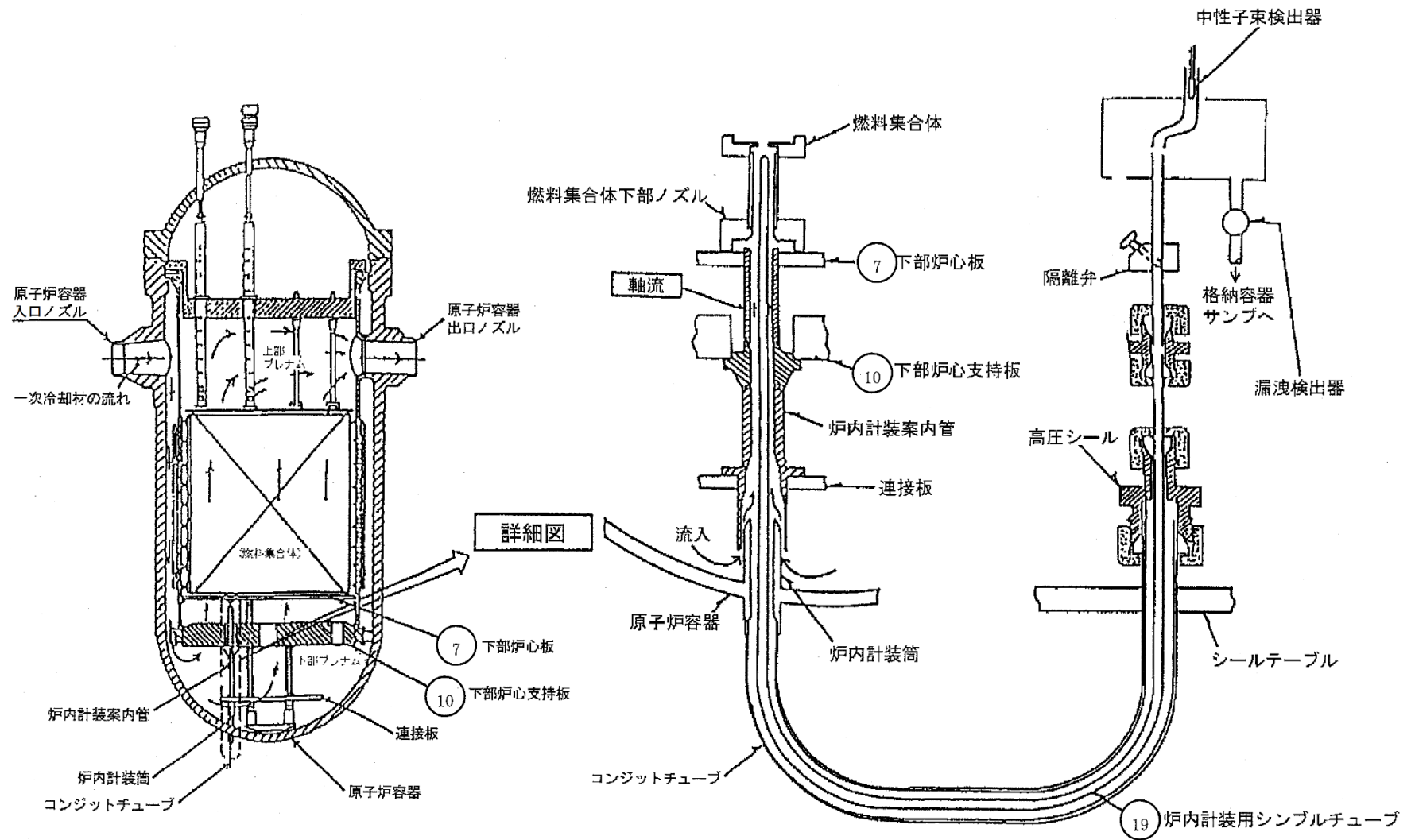


図2.1-9 炉内計装用シンプルチューブ概念図

表2.1-1 泊2号炉 炉内構造物主要部位の使用材料

部位	材料
上部炉心板	ステンレス鋼
上部炉心支持柱	ステンレス鋼
上部炉心支持板	ステンレス鋼
下部炉心板	ステンレス鋼
下部炉心支持柱	ステンレス鋼
下部炉心支持板	ステンレス鋼
炉心そう	ステンレス鋼
上部燃料集合体案内ピン	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
下部燃料集合体案内ピン	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
制御棒クラスタ案内管	ステンレス鋼
支持ピン	ニッケル基合金 (750合金)
炉心バッフル	ステンレス鋼
炉心バッフル取付板	ステンレス鋼
バッフルフォーマボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
バレルフォーマボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
炉内計装用シンプルチューブ	ステンレス鋼
熱遮へい体	ステンレス鋼
熱遮へい体取付ボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
押えリング	ステンレス鋼

表2.1-2 泊2号炉 炉内構造物の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

炉内構造物の機能である

- ・ 炉心，すなわち燃料集合体の支持及び位置決め
- ・ 制御棒クラスタの位置決め，案内及び保護
- ・ 1次冷却材の流路形成及び流量の適正配分
- ・ 炉内計装の通路形成，支持及び保護
- ・ 原子炉容器に対する中性子遮へい

を維持するためには，次の6つの項目が必要である。

- ① 炉心支持及び炉心位置決め部材信頼性の維持
- ② 制御棒クラスタ案内構造信頼性の維持
- ③ 1次冷却材流路形成構成部材信頼性の維持
- ④ 炉内計装案内構造部材信頼性の維持
- ⑤ 中性子遮へい構造信頼性の維持
- ⑥ 機器の支持構造信頼性の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

炉内構造物について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で，個々の部位の構造，材料，使用条件（水質，圧力，温度等）及び現在までの運転経験を考慮し，表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

なお，◆は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象には該当しないが，耐震安全性評価を実施するために本項に記載する。

- (1) 炉心支持構造物（上部炉心板，上部炉心支持柱，上部炉心支持板，下部炉心板，下部炉心支持柱，下部炉心支持板，炉心そう）の疲労割れ（◆）

炉心支持構造物（上部炉心板，上部炉心支持柱，上部炉心支持板，下部炉心板，下部炉心支持柱，下部炉心支持板，炉心そう）はプラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度，圧力及び流量の変化により，材料に疲労が蓄積することから，経年劣化に対する評価が必要である。

- (2) バッフルフォーマボルト等の照射誘起型応力腐食割れ（◆）

フランスにおける1988年のブジェー（Bugey）発電所2号炉及びその後の類似プラントにおいて確認されたバッフルフォーマボルトの損傷事例及び1998年以降に米国で確認された同様の事例より，高照射領域にある高応力のステンレス鋼の照射誘起型応力

腐食割れの可能性が考えられることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

なお、◆は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象には該当しないが、耐震安全性評価を実施するために本項に記載する。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗

通常運転時の1次冷却材の流れにより、制御棒クラスタ案内管内で制御棒が流体振動を起こす。その結果、制御棒と制御棒クラスタ案内管（案内板）との間で摩耗が想定される。

制御棒被覆管については摩耗減肉が認められていることから、長期的には制御棒クラスタ案内管（案内板）側が摩耗する可能性は否定できない。

制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗により、制御棒の案内機能に影響を及ぼす可能性がある事象としては、制御棒の制御棒クラスタ案内管（案内板）からの抜け出しが考えられる。制御棒被覆管の摩耗が進行し、径が細くなると、制御棒クラスタ案内管（案内板）から抜け出しやすい状態となる。現行の制御棒の管理では、予防保全的に制御棒被覆管の摩耗深さが肉厚を超えないよう定期的に制御棒の取替等を行っている。制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗管理については、安全側に制御棒被覆管の摩耗深さが肉厚に至った場合を仮定すると、制御棒クラスタ案内管（案内板）からの抜け出しの可能性が出てくると考えられるのは図2.2-1に示す摩耗長さ66%と評価されることから、泊2号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗が制御棒の案内機能に与える影響については、次のように評価される。

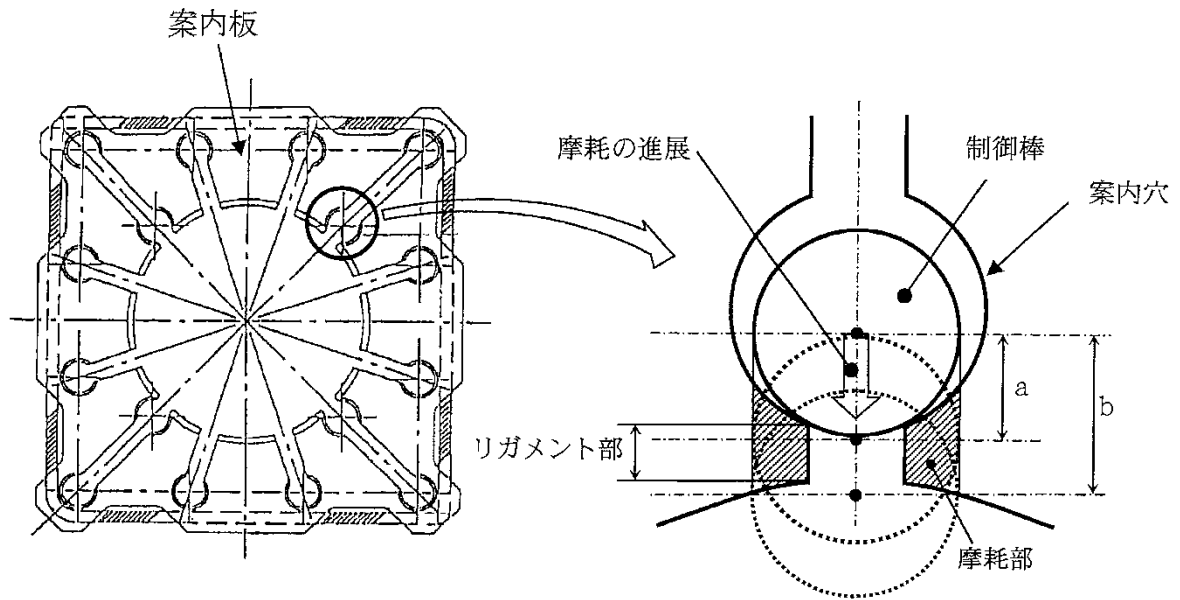
泊2号炉で採用している2ループ14×14型制御棒クラスタ案内管について、「日本機械学会 維持規格（JSME S NA1-2008）」に基づき評価を実施した結果、泊2号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）が摩耗長さ66%に達するまでの時間は約29万時間と評価される。一方、2016年10月時点の運転実績は約14.9万時間である。

以上より、泊2号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗が制御棒の案内機能に直ちに影響を及ぼす可能性はないと考える。

また、制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗による制御棒の案内機能への影響は、全制御棒の落下試験を実施し、挿入時間に問題がないことによりその健全性を確認している。

更に、第10回定期検査時（2003年度～2004年度）に摩耗計測を実施して、制御棒の案内機能の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。



$$\text{摩耗長さ}[\%] = a/b \times 100$$

a: 摩耗進行距離

b: 制御棒が制御棒クラスタ案内管案内穴より抜け出る距離(摩耗長さ100%)

図2.2-1 泊2号炉 制御棒クラスタ案内管（案内板）摩耗長さ

(2) 炉内計装用シンプルチューブの摩耗 (◆)

1981年3月、米国セーレム (Salem) 発電所 1 号炉ほかで炉内計装用シンプルチューブの摩耗による減肉が認められており、国内でも同様の事象が認められていることから、摩耗が想定される。

炉内計装用シンプルチューブの減肉が、シンプルチューブまわりの軸流による流体振動に起因することをモックアップ試験により確認している。また、減肉した炉内計装用シンプルチューブの耐圧健全性を確認するため、実機での減肉形状を模擬して外圧による圧壊試験を行い、限界減肉率を求めている。

一方、摩耗に関する一般知見として、現象が同じであれば単位時間当たりの摩耗体積は一定であり、摩耗発生箇所においては、炉内計装用シンプルチューブ及び炉内計装案内管の各形状 (図2.2-2) から、摩耗の進展に応じて、X部、Y部では接触面積が大きくなるため、摩耗深さの進展は緩やかになる。

炉内計装用シンプルチューブの摩耗による減肉については、限界減肉率に比べ十分小さい状態で管理している。

また、炉内計装用シンプルチューブの摩耗に対しては、渦流探傷検査により摩耗状況を確認するとともに、必要に応じて位置変更又は取替を実施している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

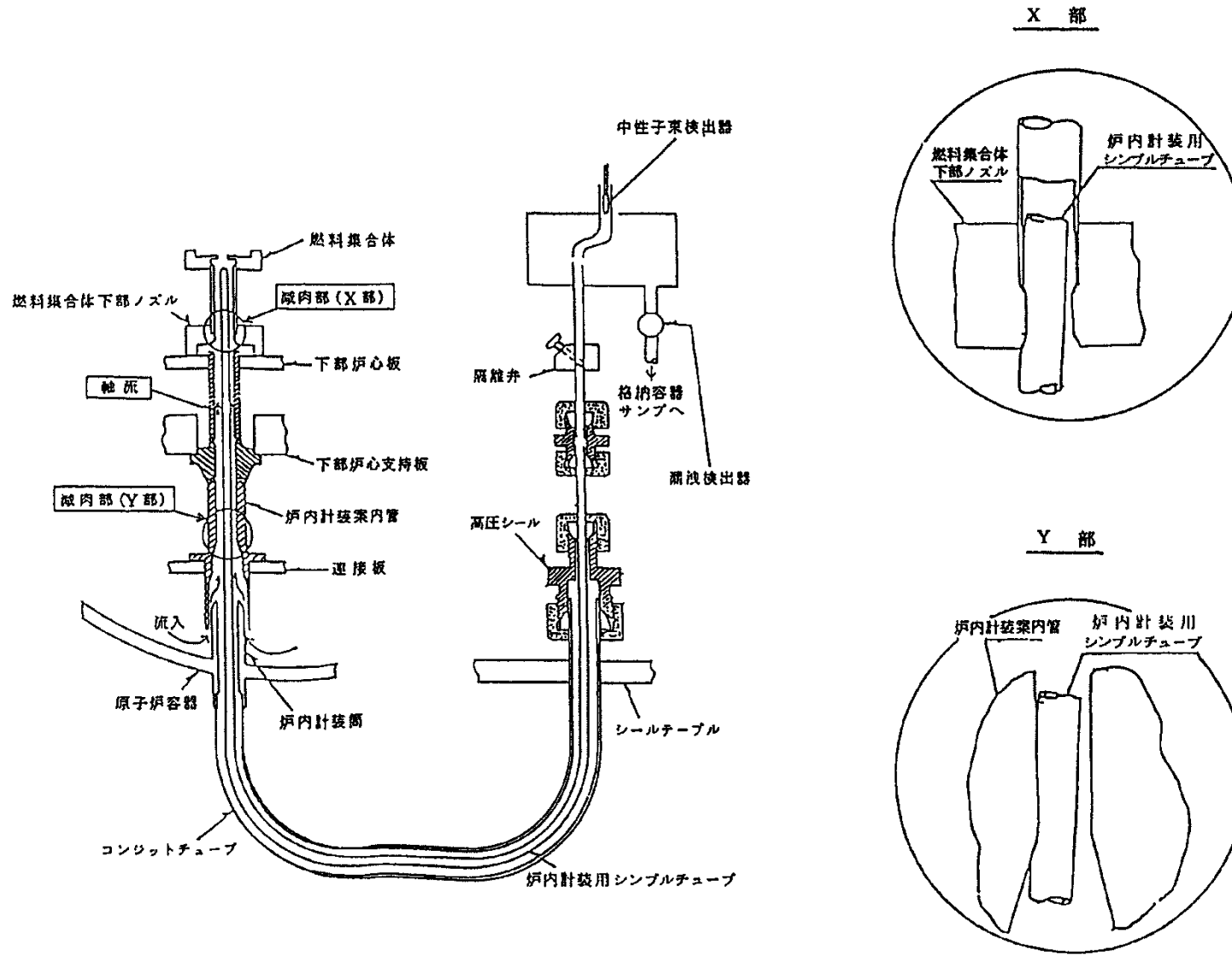


図2.2-2 炉内計装用シンプルチューブ減肉部位及び形状概念図

(3) 支持ピン（止めピン）の摩耗

支持ピン（止めピン）については、1次冷却材の流体振動によりナットピン穴とピン部に摩耗が想定される。

しかしながら、目視確認を実施し、摩耗が認められた場合は取替を実施することで、健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 炉心そうの中性子照射による靱性低下（◆）

炉心そうに使用しているステンレス鋼は、中性子照射により靱性低下など機械的特性が変化する。

中性子照射による靱性低下は、従来より原子炉容器を中心に検討評価されてきている。原子炉容器に使用されている材料はフェライト系の材料であり、この材料は中性子照射によって、関連温度の上昇や上部棚吸収エネルギーの低下が顕著なため、従来から重要な経年劣化事象として評価されている。

一方、炉心支持構造物であり強度上重要な炉心そうに使用されている材料はオーステナイト系の材料であって、フェライト系材料とは金属結晶構造が異なり、靱性が高い材料である。しかし、発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」によるとオーステナイト系照射ステンレス鋼の破壊靱性値 J_{IC} 試験の結果、図2.2-3に示すように、中性子照射に対して靱性値の低下が認められる。

しかしながら、中性子照射により、靱性値が低下しても、炉内構造物に有意な欠陥が存在しなければ、不安定破壊を起こす可能性は小さいと考える。なお、炉心そう溶接部は、応力集中がなく照射量が少ないため「日本機械学会 維持規格（JSME S NA1-2008）」に基づく評価では、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

更に、ここで万一有意な欠陥が存在すると仮定し、地震発生時の亀裂安定性評価を実施した。想定欠陥は、「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」を準用し深さを板厚の1/4、長さは板厚の1.5倍の表面欠陥を周方向に仮定した（図2.2-4）。平板中の半楕円表面亀裂の応力拡大係数 K を求める Raju-Newman の式（Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.）を用いて想定欠陥の応力拡大係数 K を算出した結果、 $4.7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となった。一方、図2.2-4中の J_{IC} 最下限値 14 kJ/m^2 から、換算式により破壊靱性値 K_{IC} を求めると $51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となる。

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)}} \times J_{IC}$$

E : 縦弾性係数 (173,000 MPa at 350°C)

ν : ポアソン比 (0.3)

J_{IC} : 破壊靱性値の下限 (14 kJ/m² at 350°C)

よって、想定欠陥の応力拡大係数は、破壊靱性値を下回っており、不安定破壊は生じないことを確認した。

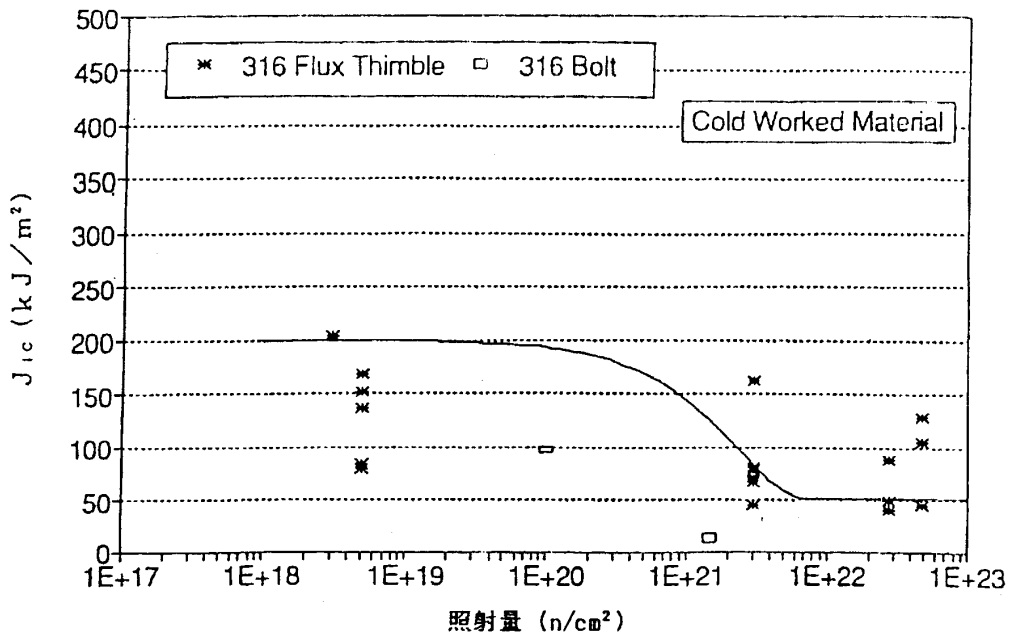


図2.2-3 破壊靱性値 J_{IC} と照射量の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

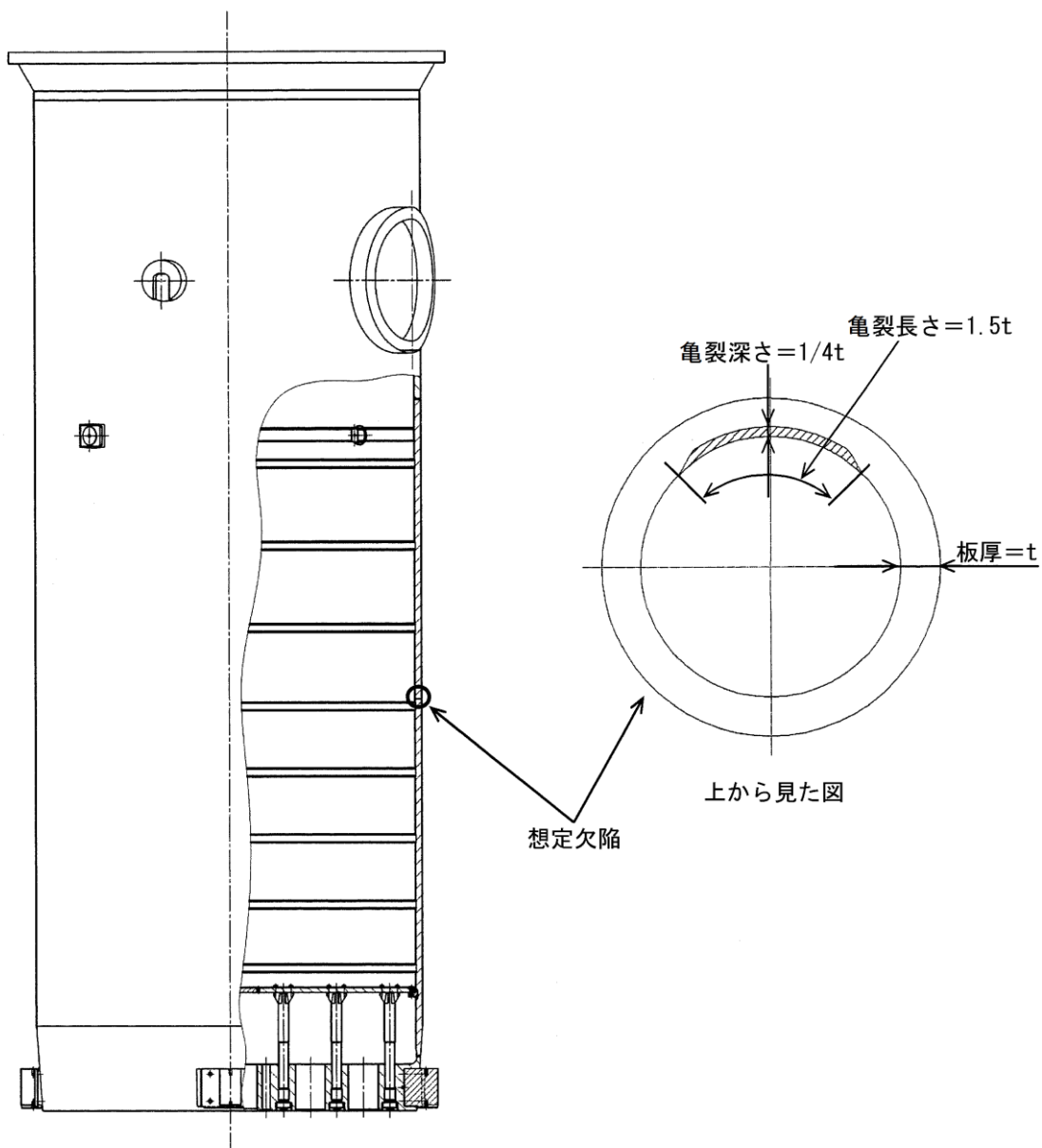


図2.2-4 泊2号炉 中性子照射による靱性低下に対する炉心そうの想定欠陥

また、炉心そうについては、水中テレビカメラによる可視範囲の目視確認を実施し、異常のないことを確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 炉心そう等の高サイクル疲労割れ

下部炉内構造物の炉心そうと熱遮へい体、上部炉内構造物の上部炉心支持柱と制御棒クラスタ案内管は冷却材高速流れにさらされており、流体によるランダム振動が発生する可能性があるため、振動発生時に繰返し応力を受ける炉心そう、上部炉心支持柱、制御棒クラスタ案内管に高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、15×15燃料3ループプラントを対象にした1/5スケールモデル流動試験を実施し、問題ないことを確認している。

また、1999年7月に敦賀2号炉の再生熱交換器連絡管において、温度の異なる冷却材の合流による温度ゆらぎ（サーマルストライピング）が生じ、高サイクル熱疲労による疲労割れが発生しているが、炉内構造物において温度の異なる冷却材が合流する炉心そう出口ノズル部、上部炉心支持板及び制御棒クラスタ案内管等については、最大の温度差を考慮しても有意な応力は発生しないため、高サイクル疲労割れ発生の可能性はない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 上部炉心支持柱等の応力腐食割れ

ステンレス鋼の上部炉心支持柱等は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、1次冷却材の水質を溶存酸素濃度0.01ppm以下に管理していることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 支持ピンの応力腐食割れ

ニッケル基合金（750合金）の支持ピンについては1978年10月美浜3号炉にて応力腐食割れが認められている。

しかしながら、泊2号炉の支持ピンは、応力腐食割れ感受性低減のため、新熱処理材応力低減化構造としていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(8) 炉心そう等の照射下クリープ

高照射環境下で使用される炉心そう及びバッフルフォーマボルト（ステンレス鋼）には照射下クリープが想定される。

しかしながら、クリープ破断は荷重制御型の応力発生下で生じるのに対し、荷重制御型応力は図2.2-5に示すように22MPa程度と微小であり、プラント運転に対し問題とはならない。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

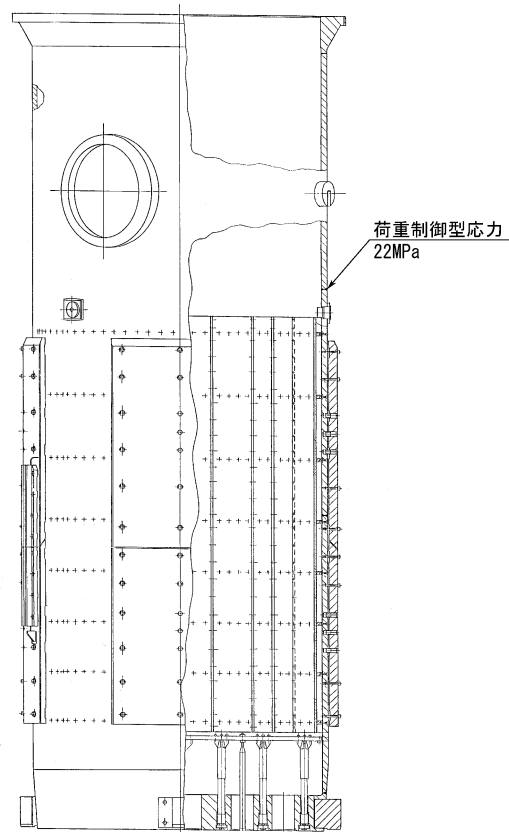


図2.2-5 泊2号炉 炉心そうの荷重制御型応力評価位置

(9) 炉心バッフルの照射スウェリング

PWRプラントでの照射スウェリング量は小さく、炉心バッフルの上下に十分な隙間が存在することから、炉心バッフルの炉心形成機能が失われるようなことはなく、また、運転時間が先行している海外PWRプラントでもそのような事例は発生していないため、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。(参考文献: J.P.Foster and J.E.Flinn, Journal of Nuclear Materials 89(1980)99-112)

(10) 押えリングの変形 (応力緩和)

プラント運転中の押えリングは、高温環境下で一定圧縮ひずみのまま保持されているため、変形 (応力緩和) が想定される。

しかしながら、押えリングに使用されているステンレス鋼 (ASME SA182 Gr. F6b) は、応力緩和を生じにくい材料であり、押えリングの変形 (応力緩和) が問題となる可能性はなく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 泊2号炉 炉内構造物に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
炉心支持及び炉心位置決め部材信頼性の維持	上部炉心板		ステンレス鋼			○◆	○ ^{*3} ◆ △				*1：高サイクル疲労割れ
	上部炉心支持柱		ステンレス鋼			○◆ △ ^{*1}	△				*2：高サイクル熱疲労割れ
	上部炉心支持板		ステンレス鋼			○◆ △ ^{*2}	△				*3：照射誘起型 応力腐食割れ
	下部炉心板		ステンレス鋼			○◆	○ ^{*3} ◆ △				*4：中性子照射による 靱性低下
	下部炉心支持柱		ステンレス鋼			○◆	○ ^{*3} ◆ △				*5：照射スウェリング
	下部炉心支持板		ステンレス鋼			○◆	△				*6：照射下クリープ
	炉心そう		ステンレス鋼			○◆ △ ^{*1,2}	○ ^{*3} ◆ △		△ ^{*4} ◆	▲ ^{*6}	*7：変形（応力緩和）
	上部燃料集合体案内ピン		ステンレス鋼				○ ^{*3} ◆ △				◆：冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されないが、耐震安全性評価のために評価する
	下部燃料集合体案内ピン		ステンレス鋼				○ ^{*3} ◆ △				
制御棒クラスタ案内構造信頼性の維持	制御棒クラスタ案内管		ステンレス鋼	△		△ ^{*1,2}	△				
	支持ピン		ニッケル合金	△			△				
1次冷却材流路形成構成部材信頼性の維持	炉心バップル		ステンレス鋼				○ ^{*3} ◆ △			▲ ^{*5}	
	炉心バップル取付板		ステンレス鋼				○ ^{*3} ◆ △				
	バップルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} ◆ △			▲ ^{*6}	
	バレルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} ◆ △				
炉内計装案内構造部材信頼性の維持	炉内計装用シンプルチューブ		ステンレス鋼	△◆			△				
中性子遮へい構造信頼性の維持	熱遮へい体		ステンレス鋼				○ ^{*3} ◆ △				
	熱遮へい体取付ボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} ◆ △				
機器の支持構造信頼性の維持	押えリング		ステンレス鋼				△			▲ ^{*7}	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 炉心支持構造物（上部炉心板，上部炉心支持柱，上部炉心支持板，下部炉心板，下部炉心支持柱，下部炉心支持板，炉心そう）の疲労割れ（◆）

a. 事象の説明

炉心支持構造物は，プラントの起動・停止等に熱過渡を繰り返し受けるため，疲労が蓄積する可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

炉心支持構造物の健全性評価にあたっては，構造が不連続であり，かつ，変形に対する拘束が大きいいため，比較的大きな熱応力の発生する部位を対象として「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」に基づき疲労評価を行った。

評価対象部位の代表部位を図2.3-1～図2.3-5に示す。

また，使用環境を考慮した疲労について，「日本機械学会 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」に基づき評価した。

劣化が進展すると仮定した場合における運転開始後60年時点の疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお，当該条件は冷温停止状態を前提とした運転開始後30年時点における評価条件を包含している。

それぞれの代表箇所における評価結果を表2.3-2に示すが，許容値を満足する結果が得られている。

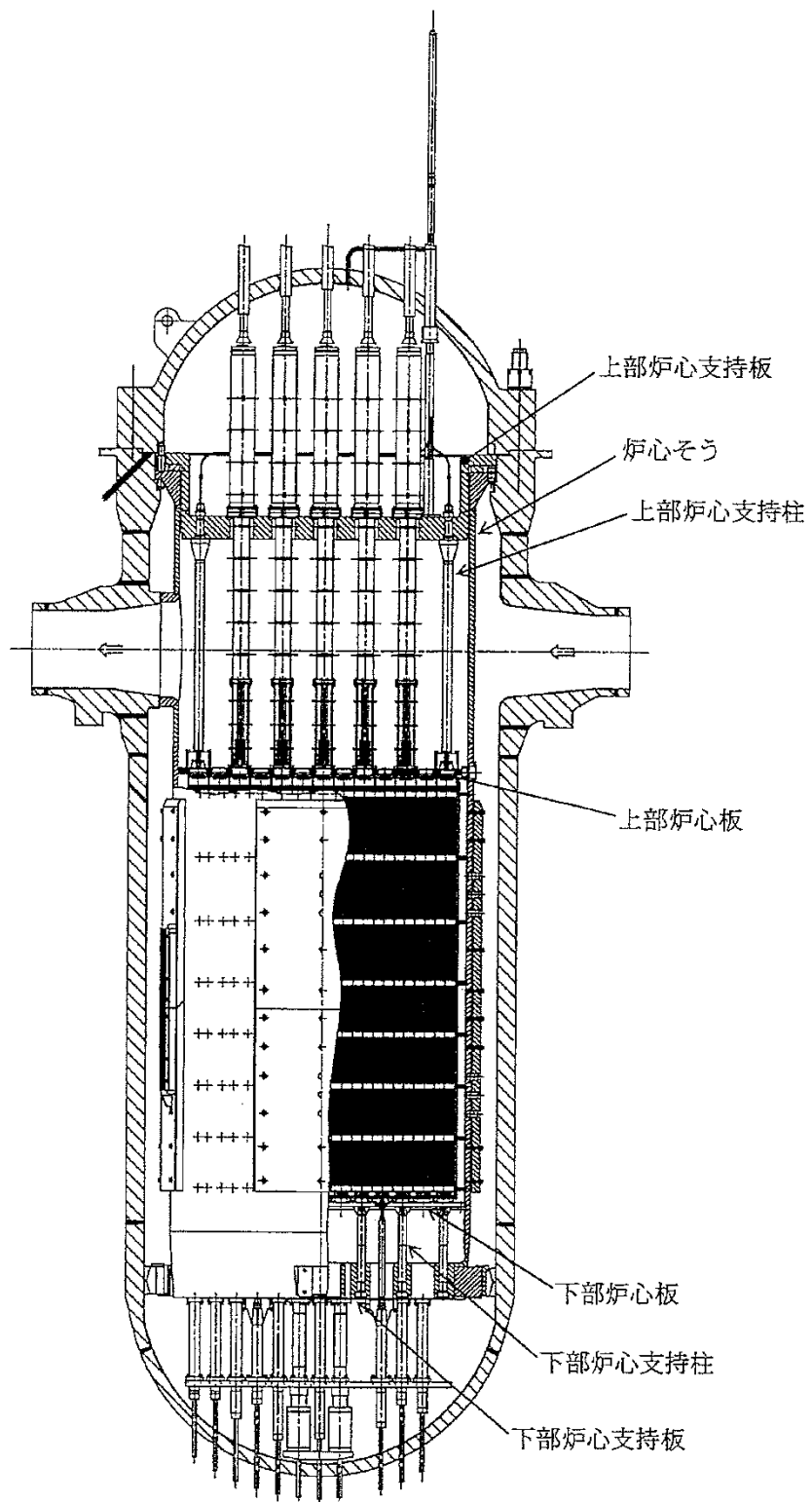


图2.3-1 泊2号炉 炉心支持構造物疲労評価部位

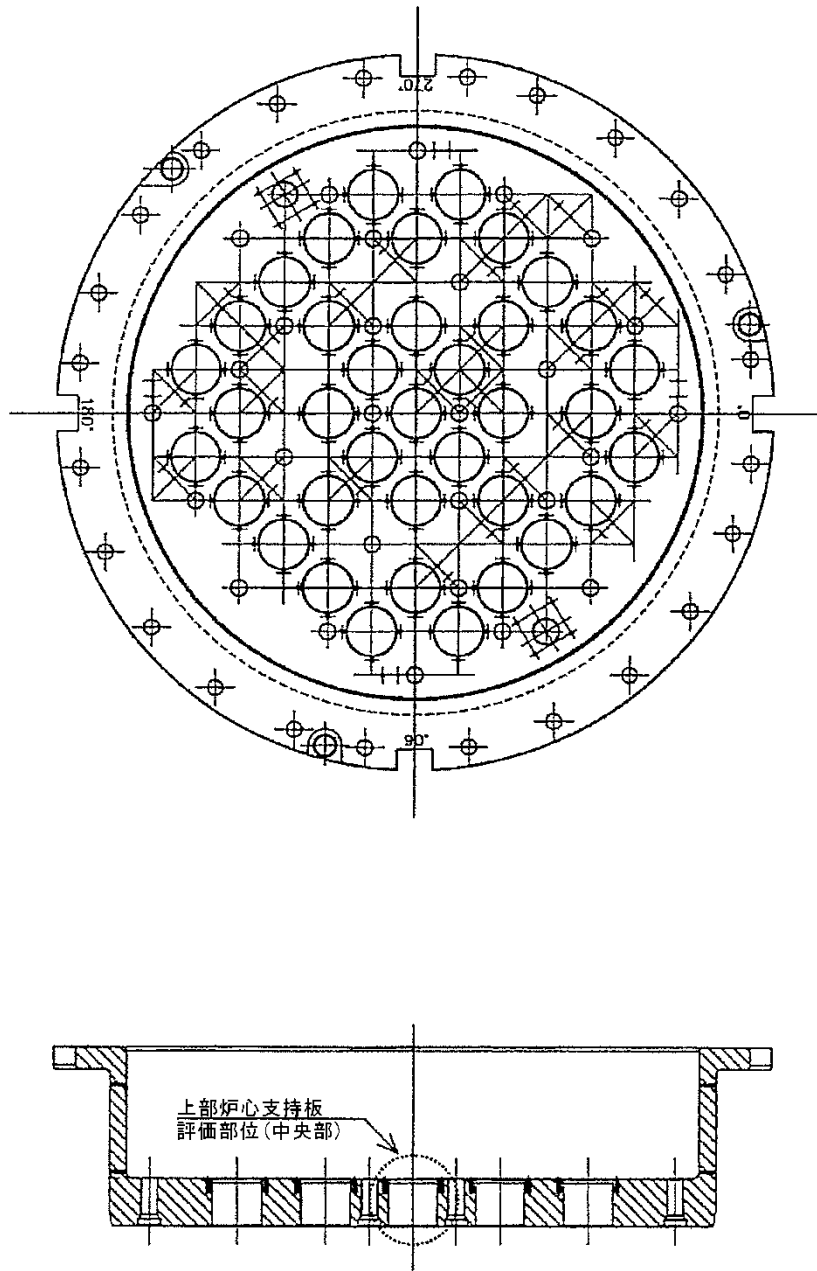


图 2.3-2 泊 2 号炉 上部炉心支持板疲劳评估部位

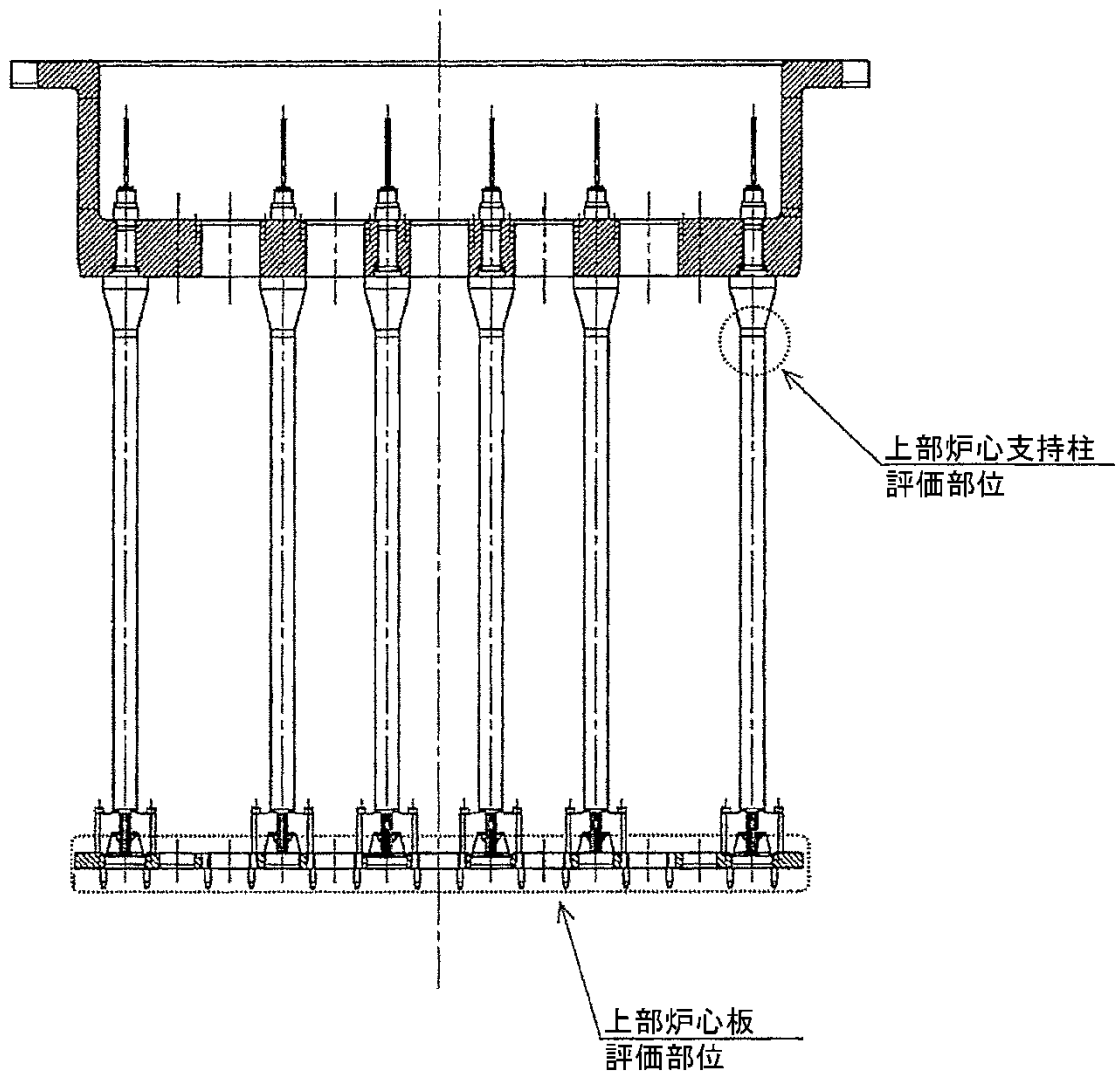


图2.3-3 泊2号炉 上部炉心支持柱，上部炉心板疲劳评估部位

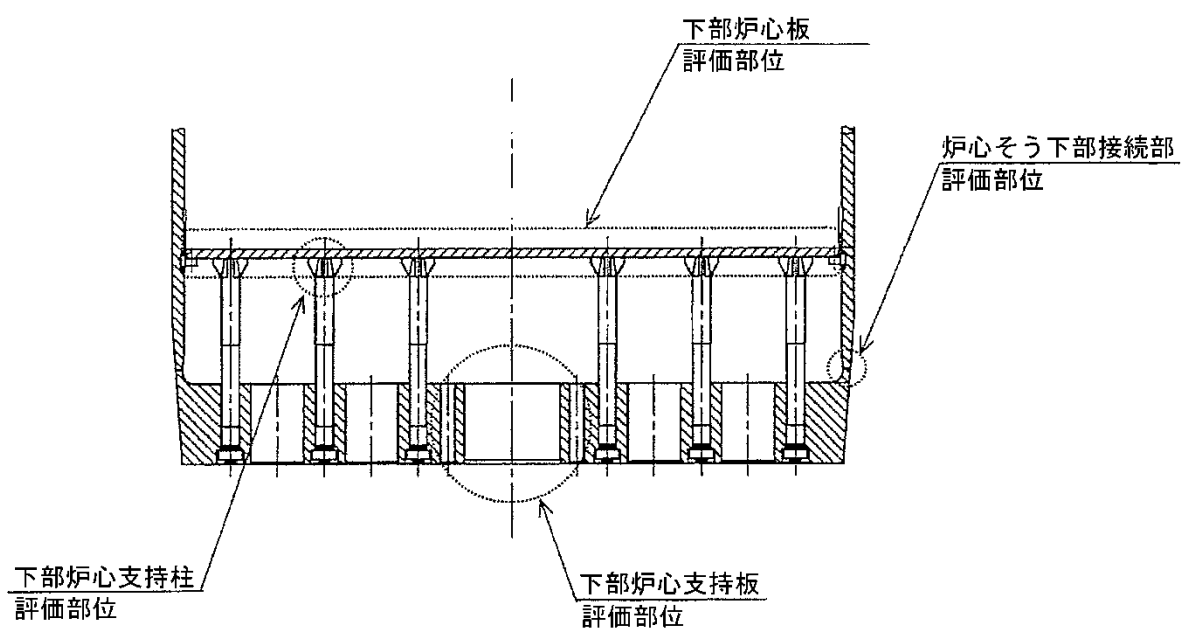


図2.3-4 泊2号炉 下部炉心支持板，下部炉心支持柱，下部炉心板，炉心そう疲労評価部位

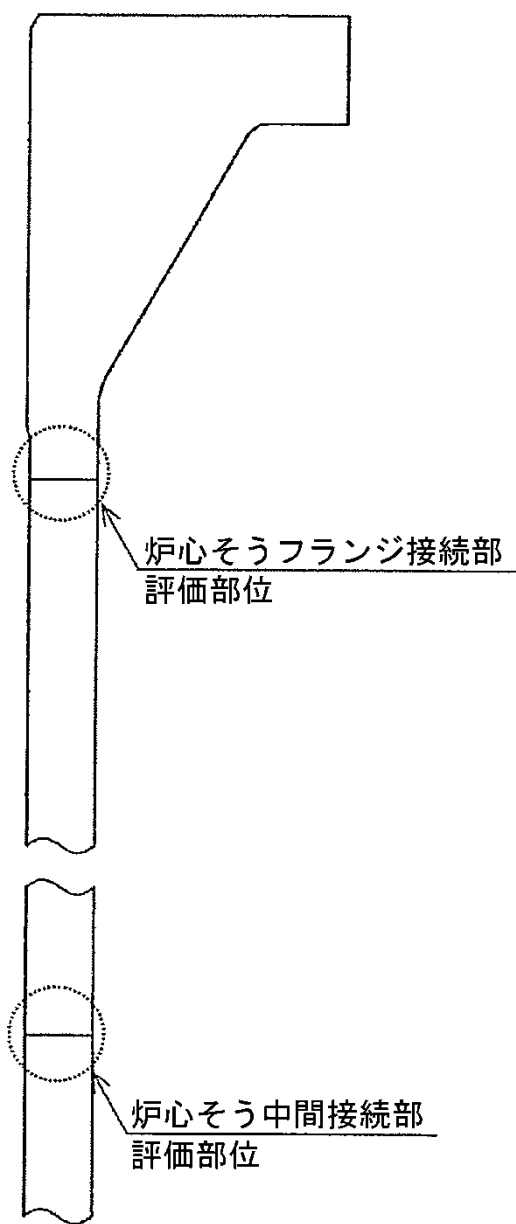


図2.3-5 泊2号炉 炉心そう疲労評価部位

表2.3-1 泊2号炉 炉心支持構造物の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年時点での推定値
起動 (温度上昇率55.6°C/h)	28	67
停止 (温度下降率55.6°C/h)	28	67
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	224	724
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	216	716
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	17	60
0%から15%への負荷上昇	28	63
15%から0%への負荷減少	20	59
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	1
Ⅱ) 起動	0	1

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2012年度末時点	運転開始後60年時点での推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	1
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	1
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	1
1次冷却系の異常な減圧	0	1
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	0	1
タービン回転試験	5	5
1次系漏えい試験	21	56

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$

($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 泊2号炉 炉心支持構造物の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
上部炉心板 (ステンレス鋼)	0.001	0.002
上部炉心支持板 (ステンレス鋼)	0.001	0.003
上部炉心支持柱 (ステンレス鋼)	0.001	0.001
下部炉心板 (ステンレス鋼)	0.001	0.001
下部炉心支持板 (ステンレス鋼)	0.001	0.004
下部炉心支持柱 (ステンレス鋼)	0.001	0.001
炉心そうフランジ接続部 (ステンレス鋼)	0.001	0.001
炉心そう中間接続部 (ステンレス鋼)	0.001	0.001
炉心そう下部接続部 (ステンレス鋼)	0.000*1	0.000*1

*1：発生応力は疲労限以下である。

② 現状保全

炉心支持構造物の疲労割れについては、定期的に可視範囲について水中テレビカメラによる目視確認を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。なお、本事象については冷温停止状態では進展することがないことから、更に問題となる可能性はないと考える。

また、疲労割れは目視確認にて検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

炉心支持構造物の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

2.3.2 バッフルフォーマボルト等の照射誘起型応力腐食割れ（◆）

a. 事象の説明

ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの発生要因としては、材料、応力、環境の三要因が考えられ、運転時間が経過し、非常に高い中性子照射量を受けると応力腐食割れとして顕在化してくる可能性がある。

① 材料要因

ステンレス鋼については、PWR 1次系水質環境においては溶存酸素濃度が低いために、仮に材料が溶接等の熱影響により鋭敏化していても応力腐食割れ感受性がないことが知られている。

しかし近年、長年の中性子照射によってステンレス鋼の材料特性に経年変化が生じ、非常に高い中性子照射量を受けたステンレス鋼においては、PWR 1次系水質環境において応力腐食割れ感受性があることが明らかになっている。

② 応力要因

材料が応力腐食割れ感受性を有する場合、熱荷重や外荷重、溶接残留応力等により大きな応力が作用する部位には応力腐食割れが発生する可能性がある。他の応力腐食割れと同様に、照射誘起型応力腐食割れについても、応力腐食割れが発生し破断するまでの時間は応力レベルに依存しており応力が高いほど破断時間の短いことが知られている。

③ 環境要因

PWR 1次系水質環境下における応力腐食割れの環境要因としては、溶存酸素や塩化物イオン等の化学成分及び温度が重要要因となるが、PWRの1次系水は、水素注入や脱塩処理により、溶存酸素濃度や塩化物イオン濃度等を極力低減している。

また、定期分析等により十分な水質管理を行っており、水環境の悪化は考えられない。よって、環境要因としては温度が重要要因となる。

温度依存性については温度が高いほど、応力腐食割れ感受性が高くなることが知られている。

b. 技術評価

① 健全性評価

発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」で得られた照射ステンレス鋼を用いたPWR 1次系水質環境での低ひずみ速度引張試験結果及び電力共通研究の結果を合わせて図2.3-6及び図2.3-7に示す。325°Cの場合、 10^{21}n/cm^2 [$E > 0.1\text{MeV}$] オーダー以上の中性子照射を受けたステンレス鋼に対して応力腐食割れ感受性が発生している。また、温度が高くなるほどその応力腐食割れ感受性発生の中性子照射量しきい値が低下している。

また、原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた照射ステンレス鋼を用いたPWR 1次系水質環境での定荷重応力腐食割れ試験結果を図2.3-8に示す。高応力であるほど亀裂発生までの時間が短いことが示されている。

以上の知見を踏まえ、炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについて、実機の中性子照射量、応力、温度条件及び海外での損傷事例をもとに、各部に対する亀裂発生可能性の評価を実施し、その結果を表2.3-3に示す。

これにより、バッフルフォーマボルトについては、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性に対して特に検討を要すると考えられる。

なお、バッフルフォーマボルト以外については、バッフルフォーマボルトの評価結果を基準に、相対的な評価を行っている。

○炉心バッフル、炉心バッフル取付板

中性子照射量及び温度条件はバッフルフォーマボルトと同等であるが、発生応力レベルが小さいため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○炉心そう

温度はバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量が小さい。また、炉心そう溶接部の残留応力値は、首下に応力集中のあるバッフルフォーマボルトの応力より小さいと考えられることから、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○上部炉心板、上部燃料集合体案内ピン

温度はバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量及び発生応力レベルが緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○下部燃料集合体案内ピン、下部炉心板、下部炉心支持柱、熱遮へい体

バッフルフォーマボルトに比べて、中性子照射量、発生応力レベル及び温度条件が緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○熱遮へい体取付ボルト

発生応力レベルはバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量及び温度条件が緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○バレルフォーマボルト

温度及び発生応力レベルはバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量が小さい。また、「日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2008)」によると、照射量、発生応力等を考慮し評価した結果、バッフルフォーマボルトに比べて十分余裕のある損傷予測結果となっている。

以下に、バッフルフォーマボルトについて、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性を評価した。

海外トラブル事例があり、中性子照射量、温度及び応力が比較的高いバッフルフォーマボルトについては、現状では異常は認められないものの運転の長期化を考慮すると、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。

なお、バッフルフォーマボルトは多数のボルトによりその機能を維持しており、フランスでは一部のバッフルフォーマボルトが損傷しても炉内構造物全体の健全性は残りの健全なバッフルフォーマボルトにより十分確保されるとして適宜点検により損傷本数を確認しながら運転が継続されている。

また、米国ではクリティカルボルト（炉心の健全性が確保できる配置、本数のバッフルフォーマボルト）について取替を実施してきている。

一方、国内では、「日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2008)」に基づく、バッフルフォーマボルトは縦列に2本のボルトが残存すればよく、ボルト本数全体の約7割が損傷した場合でも炉心の健全性は確保可能であると評価されている。

また、「日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2008)」ではバッフルフォーマボルトの仕様によってプラントをグループ1～4に分類しており、泊2号炉が属するグループ4のプラントの管理損傷ボルト数（全体の20%）に至るまでの期間は約50年以上と評価されている。

なお、バッフルフォーマボルトについては、原子力安全基盤機構「平成20年度照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は0本となり、安全に関わる機能を維持できることから、炉心の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

以上より、バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが炉心の健全性に影響を与える可能性は低いと考える。

表2. 3-3(1/2) 泊2号炉 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性評価

部位	実機条件			海外の損傷事例	可能性評価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm ² :E > 0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温度 [°C]		
バッフルフォーマボルト	9×10 ²²	大 〔締付+熱曲げ〕 +照射スウェリング〕	323	有	発生の可能性有り。炉心バッフルの照射スウェリングにより応力増加が生じるため、亀裂発生の可能性が大きくなる。海外損傷事例もあり最も厳しい。
炉心バッフル	9×10 ²²	小 (熱応力)	323	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心バッフル取付板	9×10 ²²	小 (熱応力)	323	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
バレルフォーマボルト	1×10 ²²	大 (締付+熱曲げ)	323	無	応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心そう	2×10 ²²	大*3 (溶接部) (溶接残留応力)	323	無	溶接残留応力が存在し応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部炉心板	1×10 ²¹	中 (熱応力)	323	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量及び応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部燃料集合体案内ピン	1×10 ²¹	小 (締付け)	323	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量及び応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す。

応力レベル 大：> S_y (非照射材の降伏応力) 中：≒ S_y (非照射材の降伏応力) 小：< S_y (非照射材の降伏応力)

バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルトは、初期締付応力に加えて炉心バッフル組立体の熱変形による熱曲げ応力が作用するため、高応力となる。

*3：炉心そう溶接部の残留応力は大きいですが、「日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2008)」にて、炉心そう溶接部応力は、照射誘起型応力腐食割れ発生に対し余裕があると評価されている。

表2. 3-3(2/2) 泊2号炉 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性評価

部位	実機条件			海外の損傷事例	可能性評価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm ² :E > 0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温度 [°C]		
下部燃料集合体 案内ピン	7×10 ²¹	小 (締付け)	288	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心板	7×10 ²¹	中 (熱応力)	288	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心支持柱	4×10 ²¹	小 (曲げ)	288	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮へい体	9×10 ²¹	小 (熱応力)	288	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮へい体 取付ボルト	9×10 ²¹	大 (締付+熱曲げ)	288	無	応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す。

応力レベル 大：> S_y (非照射材の降伏応力) 中：≒ S_y (非照射材の降伏応力) 小：< S_y (非照射材の降伏応力)

バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルトは、初期締付応力に加えて炉心バッフル組立体の熱変形による熱曲げ応力が作用するため、高応力となる。

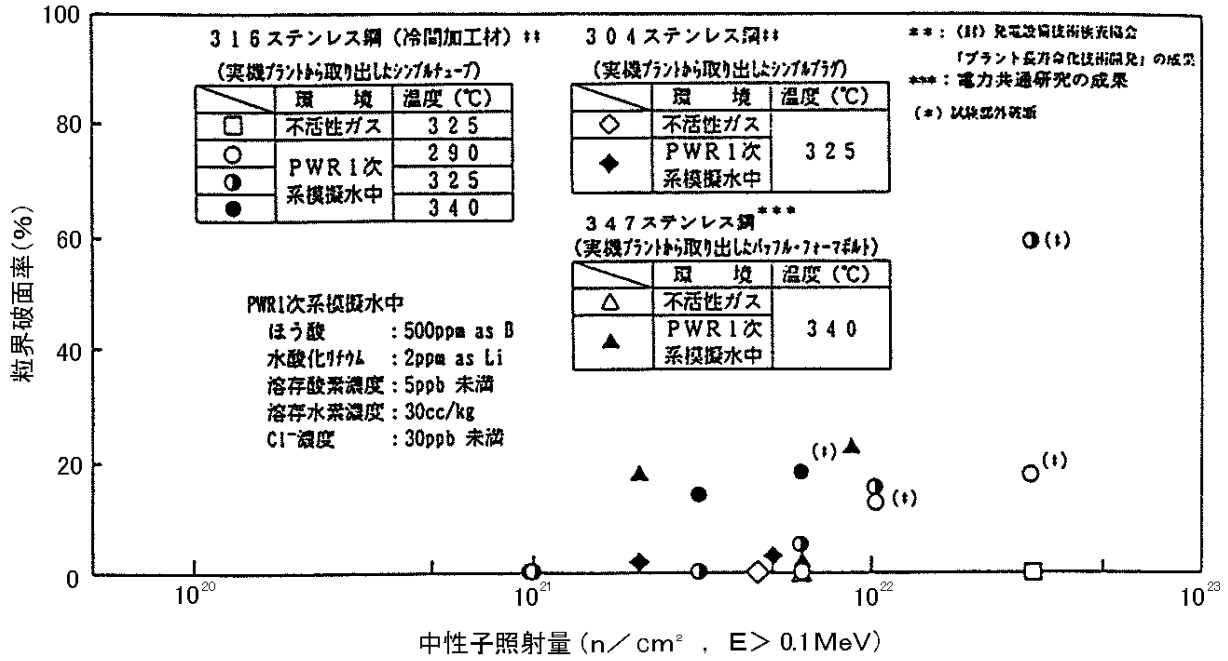


図2.3-6 粒界破面率と照射量の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

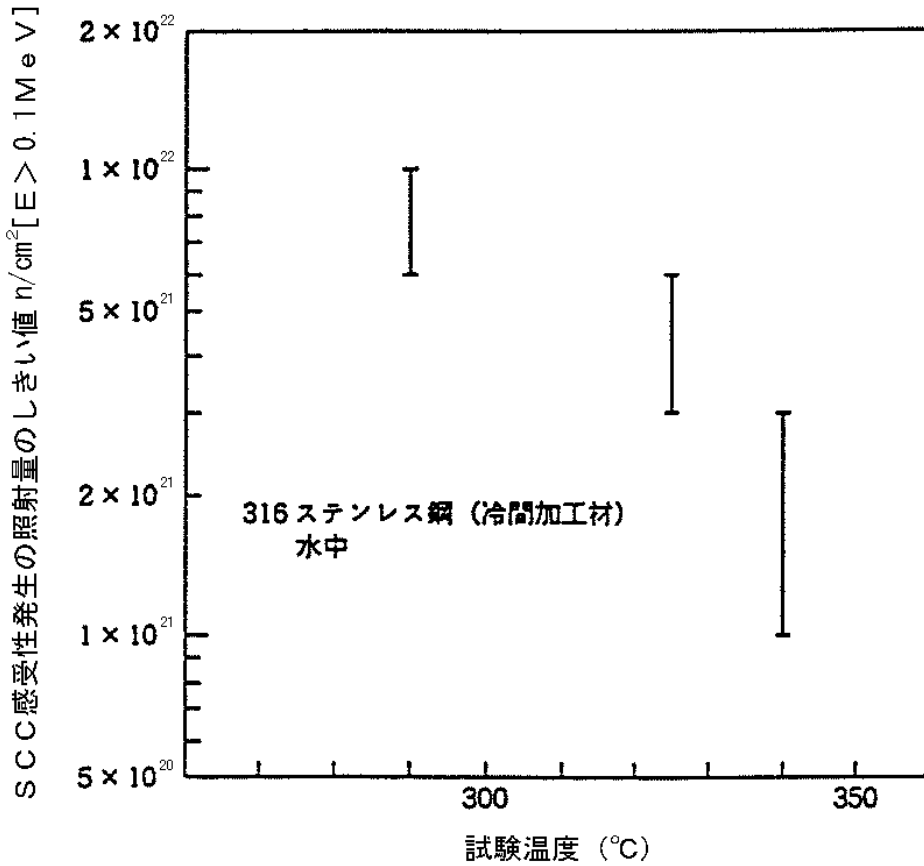


図2.3-7 応力腐食割れ (SCC) 感受性発生の中性子照射量のしきい値と試験温度の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

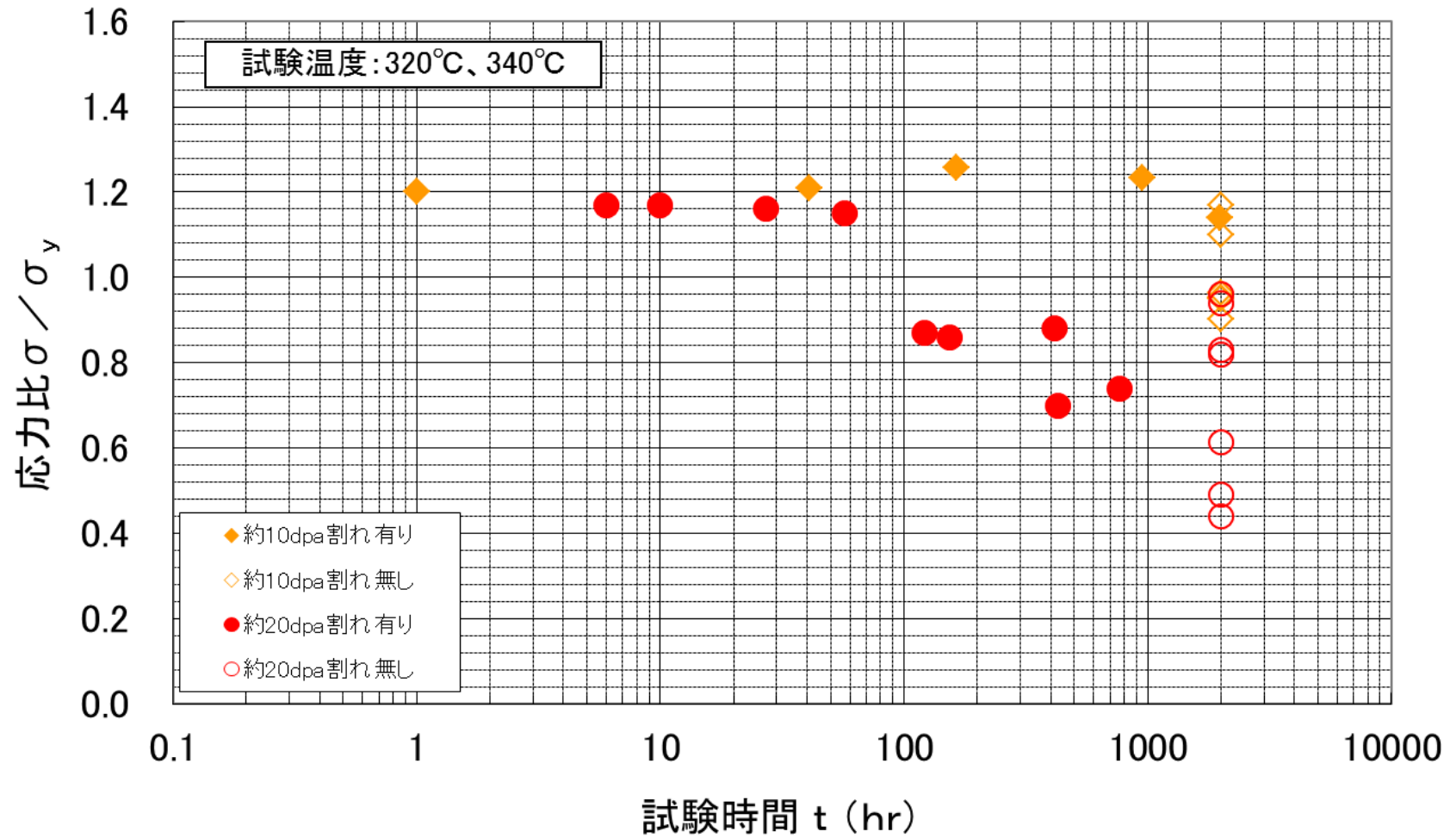


図2.3-8 定荷重応力腐食割れ試験結果

(316ステンレス鋼 (冷間加工材), $>1.5 \times 10^{22}/\text{cm}^2$)

[出典: 原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」(バッフルフォーマボルトデータのみプロット)]

② 現状保全

炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについては、定期的に炉内構造物の可視範囲について水中テレビカメラによる目視確認を実施し、異常がないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、バッフルフォーマボルトについては、照射誘起型応力腐食割れの発生が否定できないと考えられる。

ただし、原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は0本となり、バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが炉内構造物の構造強度・機能の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

バッフルフォーマボルト以外については、バッフルフォーマボルトに比べて、中性子照射量、応力、温度の実機条件が相対的に低いレベルであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと考える。

なお、本事象については冷温停止状態では進展することがないことから、更に問題となる可能性はないと考える。

c. 高経年化への対応

ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

泊発電所 2 号炉

ケーブルの技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

北海道電力株式会社

泊発電所2号炉（以下、泊2号炉という。）のケーブルのうち、評価対象機器である重要度分類指針におけるクラス1、2及び高温・高圧の環境下にあるクラス3のケーブルであって、冷温停止状態維持に必要なケーブルについて、種別及び絶縁体材料でグループ化し、同一グループ内の複数のケーブルの存在を考慮して、用途、使用場所等の観点から代表ケーブルを選定した。これらの一覧表を表1に示す。

本評価書においては、これら代表ケーブルについて技術評価を行うとともに、代表ケーブル以外のケーブルについて技術評価を展開している。また、ケーブルトレイ等及びケーブル接続部についてはケーブルの機能を維持するための1部品として位置づけられるが、それぞれケーブル種別による区別は困難であることから、ケーブルトレイ等及びケーブル接続部は独立してとりまとめている。

なお、冷温停止状態維持を前提とした本評価書では、「特別な保全計画」を含め、現状保全では「定期的」と記載するとともに、その上で点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

本評価書ではケーブルの種別を基にしたケーブル分類に、ケーブルトレイ等及びケーブル接続部のケーブルの機能を維持するための機器を加えた以下の5つに分類している。

- 1 高圧ケーブル
- 2 低圧ケーブル
- 3 同軸ケーブル
- 4 ケーブルトレイ等
- 5 ケーブル接続部

本評価書では経年劣化事象の評価のうち、劣化の観点から、冷温停止状態維持の前提に比べ、断続的運転の前提の方が条件が厳しいものは、断続的運転の条件による評価としている。

表1 (1/2) 泊2号炉 主要なケーブル

分離基準		機器名称	選定基準						シース材料	代表機器の選定	
種別	絶縁体材料		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期			代表機器	選定理由
				原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器外		建設時	運転 開始後			
高圧	架橋ポリエチレン	難燃高圧CSHVケーブル	電力		○	MS-1	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎	
低圧	難燃エチレンプロピレンゴム	難燃PHケーブル	電力・制御 ・計装	○*2	○	MS-1	○		難燃クロロスルホン化ポリエチレン	◎	使用場所
		難燃PSHVケーブル	電力・制御		○	MS-1	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル		
	特殊耐熱ビニル	難燃SHVVケーブル	制御		○	MS-1	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎	
	ビニル	難燃VVケーブル	計装		○	MS-1	○		難燃低塩酸ビニル	◎	
	四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	FPPケーブル	制御・計装		○	MS-1	○		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	◎	用途 (耐熱温度)
FPETケーブル		制御		○	MS-1	○		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂			

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：設計基準事故を考慮する。

表 1 (2 / 2) 泊 2 号炉 主要なケーブル

分離基準		機器名称	選定基準					シース材料		代表機器の選定		
種別	絶縁体材料		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表機器	選定理由
				原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後				
同軸	架橋ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブルー 1	計装	○*2	○	MS-1	○		架橋ポリエチレン	難燃架橋ポリエチレン	◎	使用場所（設計基準事故を考慮する）
		難燃三重同軸ケーブルー 2	計装	○		MS-1		○	架橋ポリエチレン	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：設計基準事故を考慮する。

[ケーブル名称の略称について]

表 1 に示す泊 2 号炉の主要なケーブルの略称は、各々以下のケーブルを示すものである。

- (1) 難燃高圧 CSHV ケーブル：高圧架橋ポリエチレン絶縁難燃低塩酸特殊耐熱ビニルシースケーブル
- (2) 難燃 PH ケーブル：難燃エチレンプロピレンゴム絶縁難燃クロロスルホン化ポリエチレンシースケーブル
- (3) 難燃 PSHV ケーブル：難燃エチレンプロピレンゴム絶縁難燃低塩酸特殊耐熱ビニルシースケーブル
- (4) 難燃 SHVV ケーブル：特殊耐熱ビニル絶縁難燃低塩酸特殊耐熱ビニルシースケーブル
- (5) 難燃 VV ケーブル：難燃ビニル絶縁難燃低塩酸ビニルシースケーブル
- (6) FPP ケーブル：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂シースケーブル
- (7) FPET ケーブル：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂シースケーブル

備考：記号の意味は、次のとおりである。

C：架橋ポリエチレン

V：ビニル

SHV：特殊耐熱ビニル

P：エチレンプロピレンゴム

H：クロロスルホン化ポリエチレン

FP：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

ET：四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

ただし、特殊耐熱ビニル絶縁ケーブルについては、本来の記号の意味からは、

- (4) 難燃 SHVV ケーブル＝難燃 SHVSHV ケーブル

と表記するところであるが、記号の簡略化のため、通常難燃 SHVV ケーブルと表記しており、ここでは通例に従って上記のように記している。

1 高圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃高圧CSHVケーブル

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 難燃高圧CSHVケーブルの技術評価	2
2.1 構造,材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	4
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	7

1. 技術評価対象機器

泊2号炉で使用されている高圧ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 泊2号炉 高圧ケーブルの主な仕様

機器名称	用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期	
		原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器外		建設時	運転 開始後
難燃高圧 CSHV ケーブル	電力		○	MS-1	○	

*1：機能は最上位の機能を示す。

2. 難燃高圧CSHVケーブルの技術評価

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 難燃高圧CSHVケーブル

(1) 構造

泊2号炉に使用している難燃高圧CSHVケーブルは導体, 内部半導電層, 絶縁体, 外部半導電層, 遮へい層, テープ及びシースで構成されている。

このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体により保たれている。

なお, 内部半導電層, 外部半導電層は導体及び遮へい層を整形するため, 遮へい層は導体の静電誘導を低減するため, テープはケーブル全体を整形するため, シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

泊2号炉の難燃高圧CSHVケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

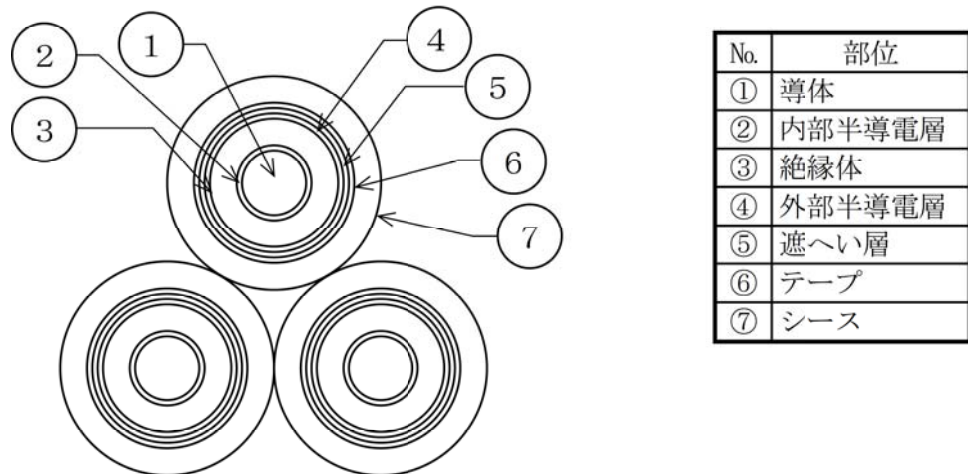


図2.1-1 泊2号炉 難燃高圧CSHVケーブル構造図

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉で使用している難燃高圧CSHVケーブルの使用材料及び使用条件を, 表2.1-1及び表2.1-2に示す。

表2.1-1 泊2号炉 難燃高圧CSHVケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅
内部半導電層	カーボン含有架橋ポリエチレン
絶縁体	架橋ポリエチレン
外部半導電層	カーボン含有架橋ポリエチレン
遮へい層	銅テープ
テープ	布
シース	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル

表2.1-2 泊2号炉 難燃高圧CSHVケーブルの使用条件*1

	原子炉格納容器外 (安全補機開閉器室)	原子炉格納容器外 (安全補機開閉器室を除く)
周囲温度	約35°C*2	約40°C*2
放射線	—	$8.5 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*3}$

- *1：原子炉格納容器外でのみ使用
- *2：原子炉格納容器外の設計平均温度
- *3：通常運転時の管理区域内の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

難燃高圧CSHVケーブルの機能である電力の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① 通電・絶縁機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

難燃高圧CSHVケーブルについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化を除く）

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）

絶縁体は有機物であり、長時間にわたって水が存在する状態で高い電界にさらされると、水トリー劣化による絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) シースの劣化

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

表2.2-1 泊2号炉 難燃高圧CSHVケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅						*1：水トリー劣化を含む *2：劣化
	内部半導電層		カーボン含有架橋ポリエチレン						
	絶縁体		架橋ポリエチレン	○*1					
	外部半導電層		カーボン含有架橋ポリエチレン						
	遮へい層		銅テープ						
	テープ		布						
	シース		難燃低塩酸 特殊耐熱ビニル					△*2	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化を除く）

a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は，IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及びIEEE Std. 383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に，我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられている。電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法並びに耐延焼性試験方法に関する推奨案」には，ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件，試験手順，並びに判定方法が述べられており，これらに従って，高圧ケーブルの長期健全性を評価した。

図2.3-1に試験手順及び判定方法を示す。

試験条件は，泊2号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験条件並びに長期健全性評価結果を表2.3-1及び表2.3-2に示す。

評価の結果，泊2号炉の難燃高圧CSHVケーブルは，運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

なお，一部の難燃高圧CSHVケーブルについては，事故時雰囲気内で機能要求がないが，実機と同じ製造メーカーのケーブルで長期健全性試験を実施していないため，絶縁低下の可能性は否定できない。

供試ケーブル

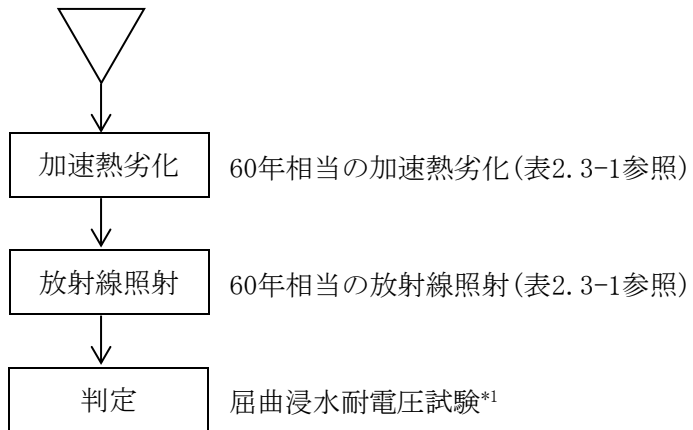


図2.3-1 難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験手順及び判定方法

*1： 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約20倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態では、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2. 3-1 難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験条件

	試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
温度	150℃－15日	112℃－15日 (=60℃*1－60年)
放射線 (集積線量)	500kGy	4. 47kGy*2

*1: 原子炉格納容器外(安全補機開閉器室を除く)でのケーブル周囲温度(約40℃)に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度, 及び原子炉格納容器外(安全補機開閉器室)でのケーブル周囲温度(約35℃)に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度を包絡する温度として設定した。

*2: $8.5 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 4.47 \text{kGy}^*3$

*3: 原子炉格納容器外(安全補機開閉器室を除く)でのケーブル周囲の放射線線量, 及び原子炉格納容器外(安全補機開閉器室)でのケーブル周囲の放射線線量を包絡する線量として設定した。

表2. 3-2 難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径: 35mm マンドレル径: 700mm 絶縁厚さ: 4.5mm 課電電圧: 14.4kV/5分間	良

(出典: メーカーデータ)

② 現状保全

絶縁体の絶縁低下に対しては, 定期的な絶縁診断として絶縁抵抗測定, 直流漏れ電流測定, シース絶縁抵抗測定及び遮へい層抵抗測定を行い, 管理範囲に収まっていることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して, 一部の難燃高圧CSHVケーブルを除いて, 絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

実機と同じ製造メーカーのケーブルで長期健全性試験を実施していない難燃高圧CSHVケーブルについては, 絶縁低下の可能性は否定できないが, 絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり, 点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁低下については、一部の難燃高圧CSHVケーブルを除いて、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

実機と同じ製造メーカーのケーブルで長期健全性試験を実施していない難燃高圧CSHVケーブルについては、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

2.3.2 絶縁体の絶縁低下（水トリリー劣化）

a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり、長時間にわたって水が存在する状態で高い電界にさらされると、水トリリー劣化による絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

泊2号炉の難燃高圧CSHVケーブルのうち、雨水等により浸水する可能性があるものは原子炉補機冷却海水管ダクト（以下「海水管ダクト」という。）内に布設しているケーブルのみであり、その他のケーブルは、長時間にわたって水が存在する状態にさらされる可能性はない。

海水管ダクト内に布設しているケーブルのうち、難燃高圧CSHVケーブルはケーブルトレイ内に布設している。海水管ダクト内は水が溜まりにくい構造となっており、仮に水が溜まった場合は恒設の排水ポンプで自動的に排水することが可能となっていることから、ケーブルが長時間浸水する可能性はないが、海水管ダクト底部の溜まり水によって高湿度環境となることを考慮すると、水トリリー劣化による絶縁低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

絶縁体の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁診断として絶縁抵抗測定、直流漏れ電流測定、シース絶縁抵抗測定及び遮へい層抵抗測定を行い、管理範囲に収まっていることの確認を行っており、点検結果に基づき取替等を検討することとしている。

また、海水管ダクト内の水の溜まりの有無を、定期的を目視確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、長時間浸水状態となる可能性は低く、水トリリー劣化による絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、高湿度環境となることを考慮すると、絶縁体の絶縁低下（水トリリー劣化）の可能性は否定できない。

しかしながら、水トリリー劣化による絶縁低下は絶縁診断で、浸水状態は目視確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

難燃高圧CSHVケーブルの絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）については、定期的に絶縁診断を実施していくとともに、点検結果に基づき取替等を検討していく。更に、海水管ダクト内の目視確認を実施していく。

2 低圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃PHケーブル
- ② 難燃PSHVケーブル
- ③ 難燃SHVVケーブル
- ④ 難燃VVケーブル
- ⑤ FPPケーブル
- ⑥ FPETケーブル

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	8
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	14
3. 代表機器以外への展開	18
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	18
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	19

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されている低圧ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルを絶縁体材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す低圧ケーブルを、絶縁体材料で分類すると、合計 4 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 絶縁体材料：難燃エチレンプロピレンゴム

このグループには難燃PHケーブル及び難燃PSHVケーブルが属するが、設計基準事故を考慮すべき難燃PHケーブルを代表機器とする。

(2) 絶縁体材料：特殊耐熱ビニル

このグループには難燃SHVVケーブルのみが属するため、難燃SHVVケーブルを代表機器とする。

(3) 絶縁体材料：ビニル

このグループには難燃VVケーブルのみが属するため、難燃VVケーブルを代表機器とする。

(4) 絶縁体材料：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

このグループにはFPPケーブル及びFPETケーブルが属するが、シースの耐熱温度の低いFPETケーブルを代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 低圧ケーブルの主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準						シース材料	代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期			代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後			
難燃エチレンプロピレンゴム	難燃PHケーブル	電力・制御・計装	○*2	○	MS-1	○		難燃クロロスルホン化ポリエチレン	◎	使用場所
	難燃PSHVケーブル	電力・制御		○	MS-1	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル		
特殊耐熱ビニル	難燃SHVVケーブル	制御		○	MS-1	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎	
ビニル	難燃VVケーブル	計装		○	MS-1	○		難燃低塩酸ビニル	◎	
四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	FPPケーブル	制御・計装		○	MS-1	○		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	◎	用途（耐熱温度）
	FPETケーブル	制御		○	MS-1	○		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：設計基準事故を考慮する。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の4種類のケーブルについて技術評価を実施する。

- ① 難燃PHケーブル
- ② 難燃SHVVケーブル
- ③ 難燃VVケーブル
- ④ FPETケーブル

2.1 構造、材料及び使用条件

(1) 構造

泊2号炉に使用している低圧ケーブルは導体、絶縁体、介在、テープ、遮へい層及びシースで構成されている。

このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体により保たれている。

なお、介在及びテープはケーブル全体を整形するため、遮へい層は導体の静電誘導を低減するため、シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

泊2号炉の代表的な低圧ケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

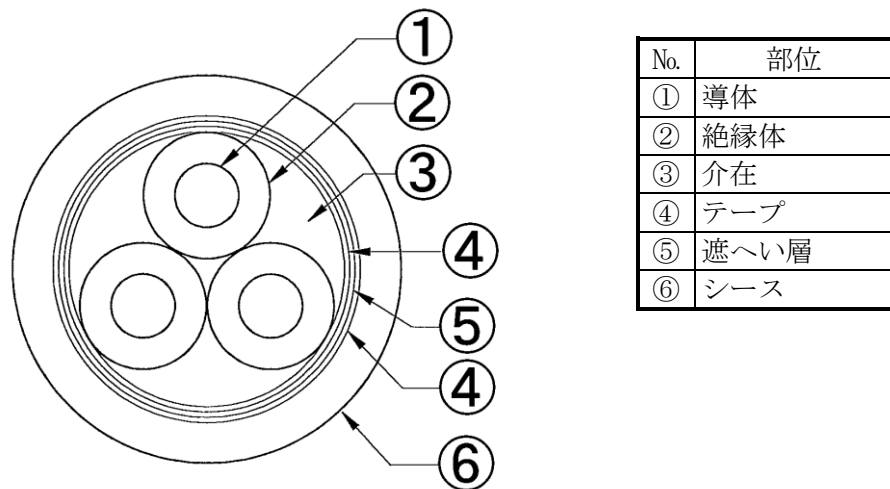


図2.1-1 泊2号炉 代表的な低圧ケーブルの構造図

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉で使用している難燃PHケーブル、難燃SHVVケーブル、難燃VVケーブル及びFPETケーブルの使用材料及び使用条件を表2.1-1～表2.1-8に示す。

表2.1-1 泊2号炉 難燃PHケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	難燃エチレンプロピレンゴム
介在	ジュート
テープ	布
遮へい層	銅テープ（錫メッキ）
シース	難燃クロロスルホン化ポリエチレン

表2.1-2 泊2号炉 難燃PHケーブルの使用条件

	通常運転時	
	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
設置場所	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
周囲温度	約43℃*1	約40℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	大気圧
放射線	0.126Gy/h*3	8.5×10^{-3} Gy/h*4

*1：運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値

*4：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

表2.1-3 泊2号炉 難燃SHVVケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	特殊耐熱ビニル
介在	ジュート
テープ	布
遮へい層	銅テープ（錫メッキ）
シース	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル

表2.1-4 泊2号炉 難燃SHVVケーブルの使用条件*1

	原子炉格納容器外
周囲温度	約40℃*2
放射線	$8.5 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*3}$

*1：原子炉格納容器外でのみ使用

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

*3：通常運転時の管理区域内の最大実測値

表2.1-5 泊2号炉 難燃VVケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	ビニル
介在	ジュート
テープ	布
遮へい層	銅テープ（錫メッキ）
シース	難燃低塩酸ビニル

表2.1-6 泊2号炉 難燃VVケーブルの使用条件*1

	原子炉格納容器外
周囲温度	約40℃*2
放射線	$8.5 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*3}$

*1：原子炉格納容器外でのみ使用

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

*3：通常運転時の管理区域内の最大実測値

表2.1-7 泊2号炉 FPETケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂
介在	ガラス介在
テープ	テフロンテープ
遮へい層	アルミポリエステルテープ
シース	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

表2.1-8 泊2号炉 FPETケーブルの使用条件

	原子炉格納容器外 (管理区域外*1)
周囲温度	約35℃*2
放射線	—

*1：中央制御室及びケーブル処理室でのみ使用

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

低圧ケーブルの主な機能である電力や計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① 通電・絶縁機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

低圧ケーブル個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 絶縁体の絶縁低下 [共通]

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) シースの劣化 [共通]

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、絶縁抵抗測定又は系統機器の動作確認により機器の健全性を確認している。

表2.2-1(1/4) 泊2号炉 難燃PHケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		難燃エチレンプロピレンゴム	○					
	介在		ジュート						
	テープ		布						
	遮へい層		銅テープ（錫メッキ）						
	シース		難燃クロロスルホン化ポリエチレン					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/4) 泊2号炉 難燃SHVケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		特殊耐熱ビニル	○					
	介在		ジュート						
	テープ		布						
	遮へい層		銅テープ（錫メッキ）						
	シース		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/4) 泊2号炉 難燃VVケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		ビニル	○					
	介在		ジュート						
	テープ		布						
	遮へい層		銅テープ（錫メッキ）						
	シース		難燃低塩酸ビニル					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 泊2号炉 FPETケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	○					
	介在		ガラス介在						
	テープ		テフロンテープ						
	遮へい層		アルミポリエステルテープ						
	シース		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 絶縁体の絶縁低下 [共通]

a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は，IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及びIEEE Std.383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に，我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられている。電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法並びに耐延焼性試験方法に関する推奨案」（以下「電気学会推奨案」という。）には，ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件，試験手順，並びに判定方法が述べられており，これらに従って，低圧ケーブルの長期健全性を評価した。

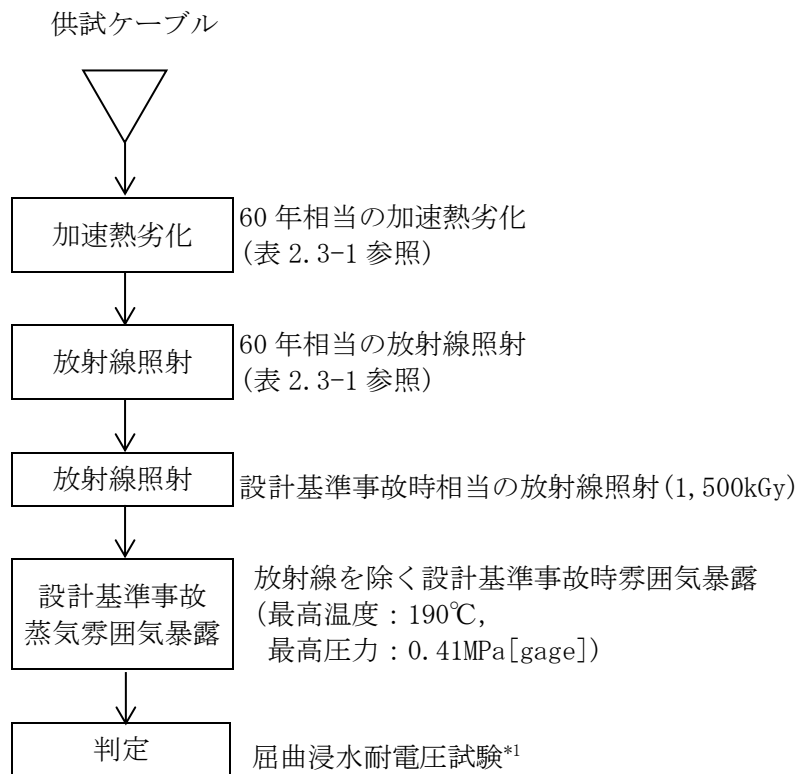
難燃PHケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順及び判定方法を図2.3-1に示す。

難燃PHケーブルの長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-1及び表2.3-2に示す。通常運転時の使用条件には，原子力安全・保安院指示文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について（平成19・07・30原院第5号 平成19年10月30日 NISA-167b-07-1）」に基づき実施した原子炉格納容器内のケーブル布設環境（温度・放射線線量率）の調査結果を反映している。

なお，試験条件は，泊2号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

電気学会推奨案に基づく評価の結果，泊2号炉の難燃PHケーブルは，運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

また，難燃SHVVケーブル，難燃VVケーブル及びFPETケーブルについては，事故時雰囲気内で機能要求がなく，用途が制御又は計装用のみで通電による温度上昇はごく僅かであることから，絶縁低下の可能性は小さいと考えるが，電気学会推奨案の手順による長期健全性評価を実施していないため，絶縁低下の可能性は否定できない。



*1: 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

図2.3-1 難燃PHケーブルの長期健全性試験手順及び判定方法

表2.3-1 難燃PHケーブルの長期健全性試験条件

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件
通常 運相 転当	温度	140℃-9日	109℃-9日 (=54℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h以下)	67kGy*2
設計 基事 準故 相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h以下)	(冷温停止状態では考慮不要)
	温度	最高温度： 190℃	(冷温停止状態では考慮不要)
	圧力	最高圧力： 0.41MPa[gage]	(冷温停止状態では考慮不要)

*1：原子炉格納容器内でのケーブル周囲温度（約43℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定した。

*2： $0.126[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 67\text{kGy}$

表2.3-2 難燃PHケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：400mm 絶縁厚さ：0.8mm 課電電圧：2.6kV/5分間	良

(出典：メーカーデータ)

② 現状保全

絶縁体の絶縁低下に対しては、制御・計装用ケーブルについては、定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、絶縁低下による機能低下のないことを確認している。

電力用ケーブルについては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、難燃PHケーブルについては、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

難燃SHVVケーブル、難燃VVケーブル及びFPETケーブルについては絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

難燃PHケーブルの絶縁体の絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

また、難燃SHVVケーブル、難燃VVケーブル及びFPETケーブルの絶縁体の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定を実施していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表となっていないケーブルへの展開について検討した。更に、代表機器と構造及び絶縁体材料が類似するケーブル（製造メーカーが異なるケーブル等）への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 難燃PSHVケーブル
- ② FPPケーブル
- ③ 難燃PHケーブルー 1（代表機器と製造メーカーが異なる難燃PHケーブル）
- ④ 難燃PHケーブルー 2（代表機器及び③と製造メーカーが異なる難燃PHケーブル）

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 絶縁体の絶縁低下 [共通]

難燃PSHVケーブルについては事故時雰囲気内で機能要求がなく、構造及び絶縁体材料が類似している実機相当品を用い、電気学会推奨案に基づく長期健全性試験を行った結果、60年間の運転期間後においても絶縁低下の可能性は小さいと考える。また、制御用ケーブルについては電圧・電流値が電力用ケーブルと比較して小さく、更に問題となる可能性は小さいと考える。

FPPケーブルについては事故時雰囲気内で機能要求がなく、用途が制御・計装用のみで通電による温度上昇はごく僅かであることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、代表機器と同様、60年間の供用を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

難燃PHケーブルー 1については事故時雰囲気内で機能要求があるが、冷温停止状態では考慮不要であるものの、実機と同じ製造メーカーのケーブルで電気学会推奨案の手順による長期健全性評価を実施していないため、60年間の供用を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

また、難燃PHケーブルー 2については事故時雰囲気内で機能要求があるが、冷温停止状態では考慮不要であるものの、実機と同じ製造メーカーのケーブルで電気学会推奨案の手順による長期健全性試験結果を用いて評価した結果、一部の難燃PHケーブルを除いて運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断するが、一部の難燃PHケーブルは、60年間の供用を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

これらのケーブルの絶縁低下は、系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定で検知可

能であり、点検手法として適切である。したがって、難燃PSHVケーブル、FPPケーブル、難燃PHケーブルー1及び難燃PHケーブルー2の絶縁体の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定を実施していく。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 シースの劣化〔共通〕

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、絶縁抵抗測定又は系統機器の動作確認により機器の健全性を確認している。

3 同軸ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃三重同軸ケーブルー1
- ② 難燃三重同軸ケーブルー2

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	8
3. 代表機器以外への展開	12
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	12
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	12

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されている同軸ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルを絶縁体材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す同軸ケーブルを、絶縁体材料で分離すると、1つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 絶縁体材料：架橋ポリエチレン

このグループには難燃三重同軸ケーブルー 1 及び難燃三重同軸ケーブルー 2 が属するが、設計基準事故を考慮すべき難燃三重同軸ケーブルー 1 を代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 同軸ケーブルの主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準						シース材料		代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後				
架橋ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブル-1	計装	○*2	○	MS-1	○		架橋ポリエチレン	難燃架橋ポリエチレン	◎	使用場所 (設計基準事故を考慮する)
	難燃三重同軸ケーブル-2	計装	○		MS-1		○	架橋ポリエチレン	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：設計基準事故を考慮する。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の1種類のケーブルについて技術評価を実施する。

① 難燃三重同軸ケーブル-1

2.1 構造、材料及び使用条件

(1) 構造

泊2号炉に使用している同軸ケーブルは内部導体、絶縁体、外部導体、内部シース、遮へい体及び外部シースで構成されている。

このうち同軸ケーブルの絶縁機能は絶縁体及び内部シースにより保たれている。なお、遮へい体は導体の静電誘導を低減するため、外部シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

泊2号炉の代表的な同軸ケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

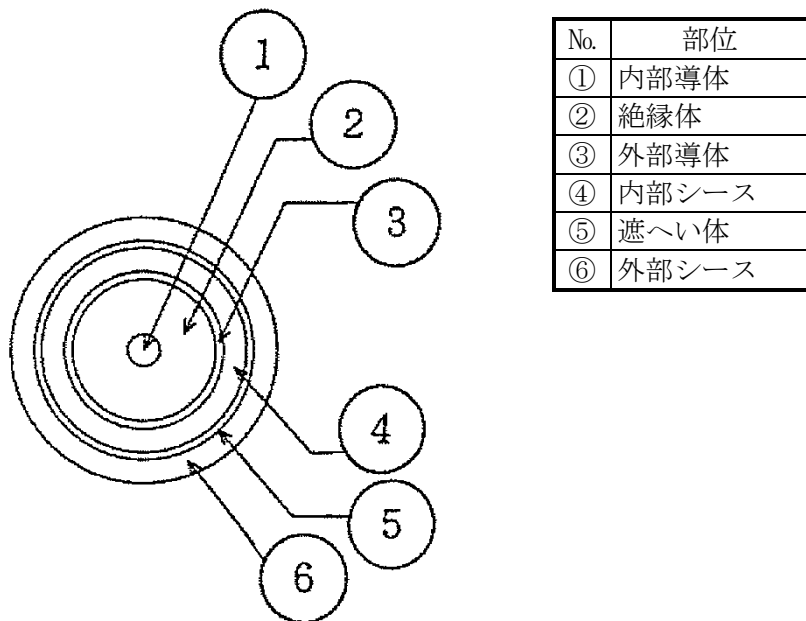


図2.1-1 泊2号炉 代表的な同軸ケーブルの構造図

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉で使用している難燃三重同軸ケーブル-1の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

表2.1-1 泊2号炉 難燃三重同軸ケーブル-1 主要部位の使用材料

部位	材料
内部導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	架橋ポリエチレン
外部導体	銅線編組（錫メッキ）
内部シース	架橋ポリエチレン
遮へい体	銅線編組（錫メッキ）
外部シース	難燃架橋ポリエチレン

表2.1-2 泊2号炉 難燃三重同軸ケーブル-1 の使用条件

	通常運転時	
	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
設置場所	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
周囲温度	約43℃*1	約40℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	大気圧
放射線	0.126Gy/h*3	8.5×10^{-3} Gy/h*4

*1：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値

*4：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

同軸ケーブルの主な機能である計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① 通電・絶縁機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

同軸ケーブルについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 絶縁体及び内部シースの絶縁低下

絶縁体及び内部シースは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 外部シースの劣化

外部シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

表2.2-1 泊2号炉 難燃三重同軸ケーブルー1に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	内部導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		架橋ポリエチレン	○					
	外部導体		銅線編組（錫メッキ）						
	内部シース		架橋ポリエチレン	○					
	遮へい体		銅線編組（錫メッキ）						
	外部シース		難燃架橋ポリエチレン					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 絶縁体及び内部シースの絶縁低下

a. 事象の説明

絶縁体及び内部シースは有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は，IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及びIEEE Std.383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に，我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられている。電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法並びに耐延焼性試験方法に関する推奨案」（以下「電気学会推奨案」という。）には，ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件，試験手順，並びに判定方法が述べられており，本評価ではこれらに従って，実機同等品を用いて同軸ケーブルの長期健全性を評価した。

難燃三重同軸ケーブルー1の電気学会推奨案に基づく試験手順及び判定方法を図2.3-1に，難燃三重同軸ケーブルー1の長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-1及び表2.3-2に示す。通常運転時の使用条件には，原子力安全・保安院指示文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について（平成19・07・30原院第5号 平成19年10月30日 NISA-167b-07-1）」に基づき実施した原子炉格納容器内のケーブル布設環境（温度・放射線線量率）の調査結果を反映している。

試験条件は，泊2号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

評価の結果，泊2号炉の難燃三重同軸ケーブルー1は，運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

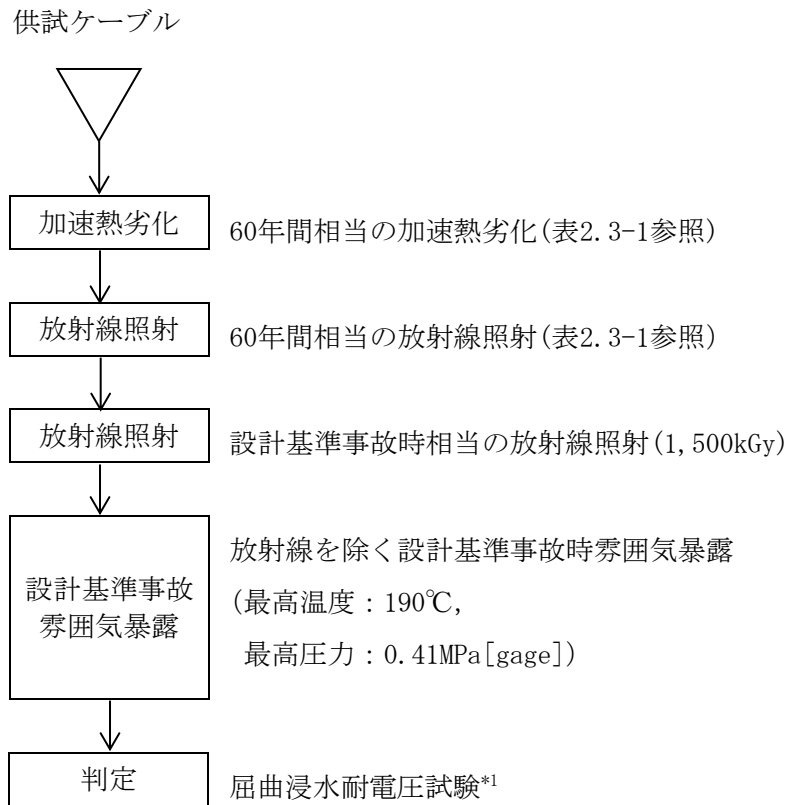


図2.3-1 難燃三重同軸ケーブルー1の長期健全性試験手順及び判定方法

*1: 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-1 難燃三重同軸ケーブルー1の長期健全性試験条件

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
通常 運相 転当	温度	121℃－7日	89℃－7日 (=50℃*1－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.49kGy/h)	67kGy*2
設 計 基 事 準 故 相 当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.49kGy/h)	(冷温停止状態では考慮不要)
	温度	最高温度：190℃	(冷温停止状態では考慮不要)
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	(冷温停止状態では考慮不要)

*1：原子炉格納容器内でのケーブル周囲温度（約43℃）に若干の余裕を加えた温度として設定した。

*2： $0.126[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 67\text{kGy}$

表2.3-2 難燃三重同軸ケーブルー1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.7mm マンドレル径：500mm 絶縁厚さ：2.9mm 課電電圧：9.7kV/5分間	良

(出典：メーカーデータ)

② 現状保全

絶縁体及び内部シースの絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、難燃三重同軸ケーブル 1 については、絶縁体及び内部シースの絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

c. 高経年化への対応

難燃三重同軸ケーブル 1 の絶縁体及び内部シースの絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表となっていないケーブルへの展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

① 難燃三重同軸ケーブルー2

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 絶縁体及び内部シースの絶縁低下

事故時雰囲気内で機能要求がない難燃三重同軸ケーブルー2については、代表機器と同様の長期健全性試験を行った結果、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断でき、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、難燃三重同軸ケーブルー2の絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、難燃三重同軸ケーブルー2の絶縁体及び内部シースの絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 外部シースの劣化

外部シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

4 ケーブルトレイ等

[対象機器]

- ① ケーブルトレイ
- ② 電線管

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	2
2.1 構造, 材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	8

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊2号炉でケーブルの支持及び収納器材として使用されているケーブルトレイ等の主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルトレイ等を型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すケーブルトレイ等を、型式で分離すると、合計2つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：トレイ式

このグループにはケーブルトレイのみが属するため、ケーブルトレイを代表機器とする。

(2) 型式：管式

このグループには電線管のみが属するため、電線管を代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 ケーブルトレイ等の主な仕様

分離基準	機器名称	仕様 [機能]	選定	選定理由
型式				
トレイ式	ケーブルトレイ	ケーブルを収納して支持する	◎	
管式	電線管	ケーブルを収納して支持する	◎	

注：使用場所、重要度等は収納するケーブルによる。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の2種類のケーブルトレイ等について、技術評価を実施する。

- ① ケーブルトレイ
- ② 電線管

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 ケーブルトレイ

(1) 構造

泊2号炉に使用しているケーブルトレイは、鋼材、ベースプレートを溶接により架台状に製作し、その上にケーブルトレイ（本体）を溶接した構造となっている。

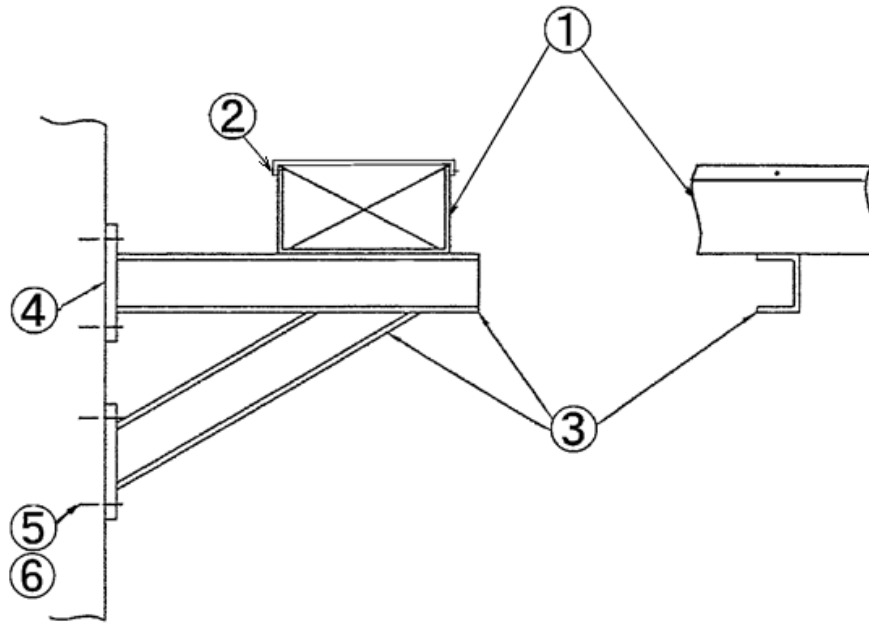
また、ベースプレートは基礎ボルトあるいは埋込金物への溶接にて支持する構造としている。

泊2号炉のケーブルトレイの構造図の例を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉のケーブルトレイの使用材料の例を表2.1-1に示す。

使用条件については、屋内設置である。



側面図

正面図

No.	部位
①	ケーブルトレイ(本体)
②	取付ボルト
③	鋼材
④	ベースプレート
⑤	基礎ボルト
⑥	埋込金物

図2.1-1 泊2号炉 ケーブルトレイ構造図の例

表2.1-1 泊2号炉 ケーブルトレイ主要部位の使用材料の例

部位	材料
ケーブルトレイ(本体)	炭素鋼
取付ボルト	炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼

2.1.2 電線管

(1) 構造

泊2号炉に使用している電線管は、鋼材、ベースプレートを溶接により架台状に製作し、その上にボルトにてユニバーサルチャンネルを取り付け、電線管（本体）をユニバーサルクランプにて挟み込んだ構造となっている。

電線管の延長は、ねじ込み式のカップリングにて実施している。

また、ベースプレートは基礎ボルトあるいは埋込金物への溶接にて支持する構造としている。

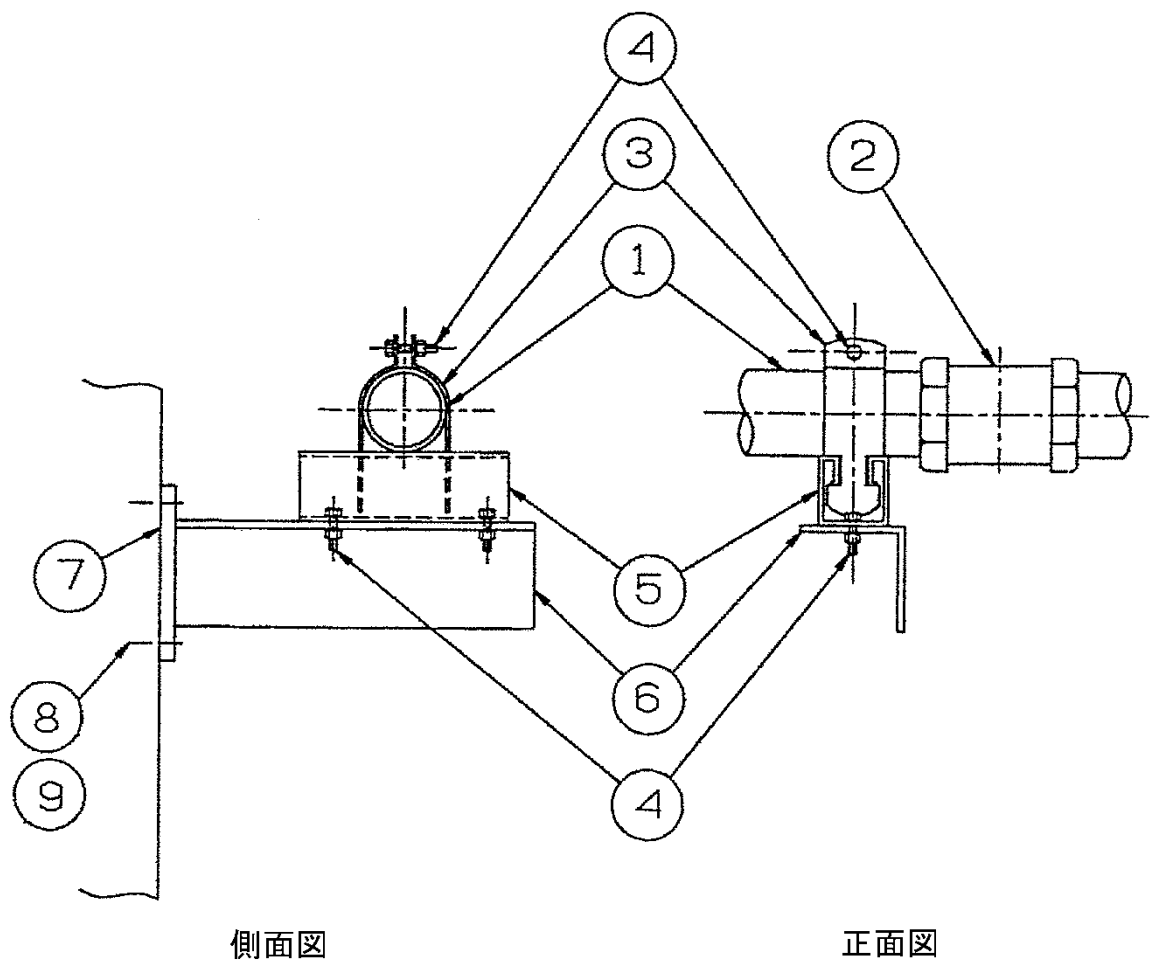
なお、電線管（本体）をコンクリートに直接埋設する構造もある。

泊2号炉の電線管の構造図の例を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の電線管の使用材料の例を表2.1-2に示す。

使用条件については、屋内設置である。



側面図

正面図

No.	部位
①	電線管(本体)
②	カップリング
③	ユニバーサルクランプ
④	ボルト, ナット
⑤	ユニバーサルチャンネル
⑥	鋼材
⑦	ベースプレート
⑧	基礎ボルト
⑨	埋込金物

図2.1-2 泊2号炉 電線管構造図の例

表2.1-2 泊2号炉 電線管主要部位の使用材料の例

部位	材料
電線管(本体)	炭素鋼
カップリング	炭素鋼
ユニバーサルクランプ	炭素鋼
ボルト, ナット	炭素鋼
ユニバーサルチャンネル	炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ケーブルトレイ等の主な機能であるケーブルの伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ケーブルの支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ケーブルトレイ等について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) ケーブルトレイ（本体）等の腐食（全面腐食）〔共通〕

ケーブルトレイ（本体）、取付ボルト、鋼材、ベースプレート、ユニバーサルクランプ、ボルト、ナット及びユニバーサルチャンネルは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装又はメッキにより腐食を防止しており、塗膜又はメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜又はメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 電線管（本体）及びカップリングの外表面からの腐食（全面腐食）〔電線管〕

電線管（本体）及びカップリングは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、外表面については塗装又はメッキにより腐食を防止しており、塗膜又はメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜又はメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）〔共通〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(5) 電線管（本体）及びカップリングの内面からの腐食（全面腐食）〔電線管〕

電線管（本体）及びカップリングは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内面については、亜鉛メッキにより腐食を防止している。また、内装物はケーブルのみであり、メッキ面への外力は加わらないため亜鉛メッキが剥がれることはなく、外面と比較して環境条件が緩やかであるため腐食の発生する可能性は小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、電線管（本体）のコンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、電線管に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）〔共通〕

コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1(1/2) 泊2号炉 ケーブルトレイに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ケーブルの支持	ケーブルトレイ(本体)		炭素鋼		△						*1: 大気接触部 *2: コンクリート埋設部
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/2) 泊2号炉 電線管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ケーブルの支持	電線管(本体)		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△ ^{*1} ▲ ^{*2}					*1: 外面からの腐食 *2: 内面からの腐食 *3: 大気接触部 *4: コンクリート埋設部	
	カップリング		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						
	ユニバーサルクランプ		炭素鋼		△						
	ボルト, ナット		炭素鋼		△						
	ユニバーサルチャンネル		炭素鋼		△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*3} ▲ ^{*4}						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

5 ケーブル接続部

[対象機器]

- ① 一般端子接続
- ② 端子台接続
- ③ 気密端子箱接続
- ④ 直ジョイント
- ⑤ 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続
- ⑥ 原子炉格納容器外電動弁コネクタ接続
- ⑦ 加圧器ヒータコネクタ接続
- ⑧ 三重同軸コネクタ接続－1
- ⑨ 三重同軸コネクタ接続－2
- ⑩ 複合同軸コネクタ接続

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	22
3. 代表機器以外への展開	29
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	29
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	30

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されているケーブル接続部の主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブル接続部を型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すケーブル接続部を、型式で分離すると、合計 4 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：端子接続

このグループには一般端子接続、端子台接続及び気密端子箱接続が属するが、使用場所が原子炉格納容器内であり、設計基準事故を考慮すべき気密端子箱接続を代表機器とする。

(2) 型式：直ジョイント

このグループには直ジョイントのみが属するため、直ジョイントを代表機器とする。

(3) 型式：低圧コネクタ接続

このグループには原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続、原子炉格納容器外電動弁コネクタ接続及び加圧器ヒータコネクタ接続が属するが、設計基準事故を考慮すべき原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続を代表機器とする。

(4) 型式：同軸コネクタ接続

このグループには三重同軸コネクタ接続－1、三重同軸コネクタ接続－2及び複合同軸コネクタ接続が属するが、設計基準事故を考慮すべき三重同軸コネクタ接続－1を代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 ケーブル接続部の主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準				代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外			
端子接続	一般端子接続	電力		○	MS-1	◎	使用場所 (設計基準事故を考慮する)
	端子台接続	電力・制御・計装	○	○	MS-1		
	気密端子箱接続	電力・制御・計装	○*2	○	MS-1		
直ジョイント	直ジョイント	電力・制御・計装	○*2	○	MS-1	◎	
低圧コネクタ接続	原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続	電力・制御	○*2		MS-1	◎	使用場所 (設計基準事故を考慮する)
	原子炉格納容器外電動弁コネクタ接続	電力・制御		○	MS-1		
	加圧器ヒータコネクタ接続	電力	○		MS-2		
同軸コネクタ接続	三重同軸コネクタ接続-1	計装	○*2	○	MS-1	◎	使用場所 (設計基準事故を考慮する)
	三重同軸コネクタ接続-2	計装		○	MS-1		
	複合同軸コネクタ接続	計装		○	MS-2		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：設計基準事故を考慮する。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の4種類のケーブル接続部について技術評価を実施する。

- ① 気密端子箱接続
- ② 直ジョイント
- ③ 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続
- ④ 三重同軸コネクタ接続－1

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 気密端子箱接続

(1) 構造

泊2号炉に使用している気密端子箱接続は、ケーブルを気密された端子箱内で端子台により接続する構造となっている。

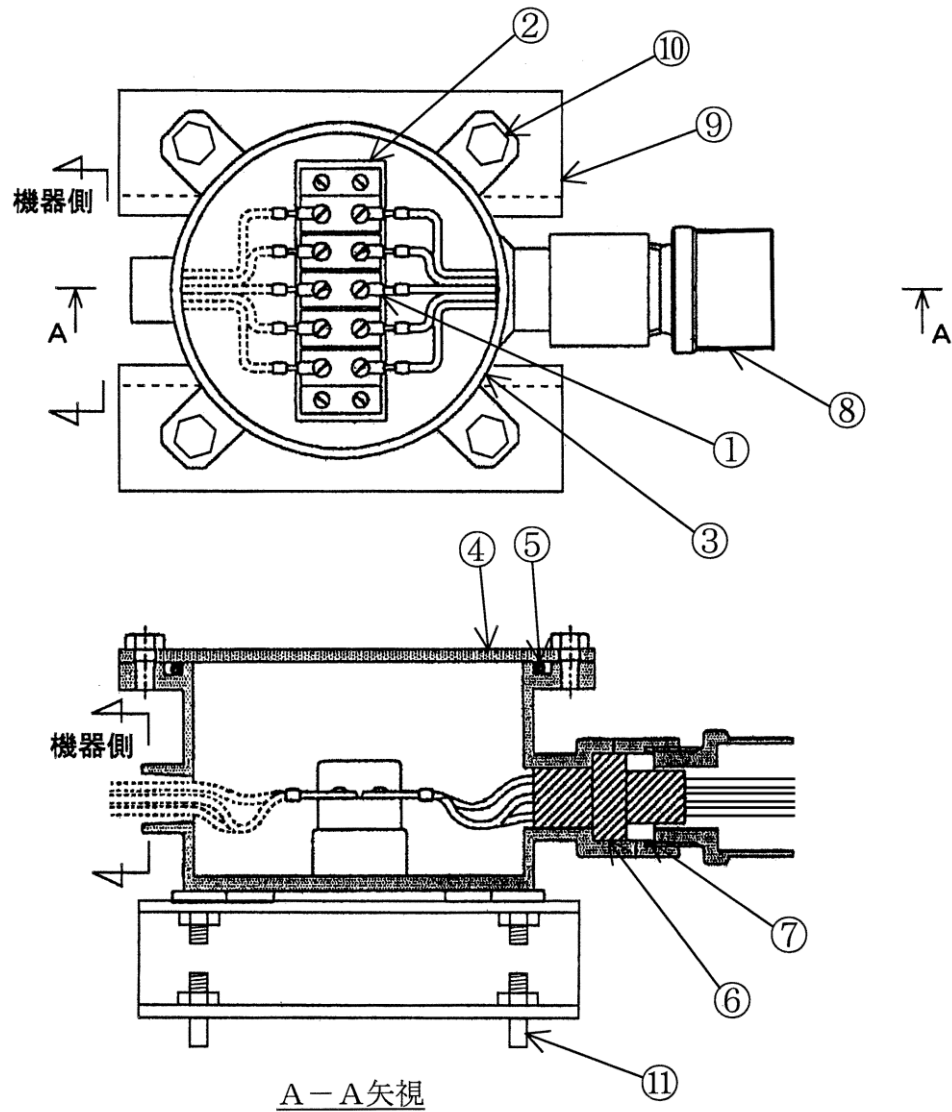
蓋板はOリングを挟んでねじ止めし、ケーブル貫通部はLCモールドを押え金具で押さえた後、ボックスコネクタにて締め込む構造となっている。

端子箱は、基礎ボルトで壁に取り付けられた架台に、取付ボルトで取り付けられている。

泊2号炉の代表的な気密端子箱接続の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉で使用されている気密端子箱接続の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	端子
②	端子台
③	端子箱
④	蓋板
⑤	Oリング
⑥	LCモールド
⑦	押え金具
⑧	ボックスコネクタ
⑨	架台
⑩	取付ボルト
⑪	基礎ボルト

図2.1-1 泊2号炉 代表的な気密端子箱接続の構造図

表2.1-1 泊2号炉 気密端子箱接続主要部位の使用材料

部位	材料
端子	銅（錫メッキ）
端子台	磁器，銅合金（ニッケルメッキ）
端子箱	ステンレス鋼
蓋板	ステンレス鋼
Oリング	エチレンプロピレンゴム
LCモールド	エチレンプロピレンゴム，銅
押え金具	ステンレス鋼
ボックスコネクタ	銅合金
架台	炭素鋼
取付ボルト	ステンレス鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 泊2号炉 気密端子箱接続の使用条件

	通常運転時	
	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
設置場所	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
周囲温度	約43℃*1	約40℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	大気圧
放射線	0.126Gy/h*3	8.5×10^{-3} Gy/h*4

*1：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

*2：原子炉格納容器外的设计平均温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル接続部周囲の平均線量率の最大実測値

*4：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.1.2 直ジョイント

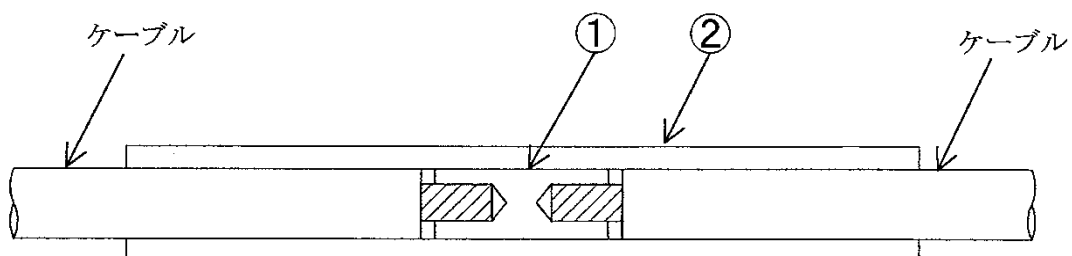
(1) 構造

泊2号炉で使用している直ジョイントは、ケーブル同士を隔壁付スリーブで圧着接続し、その周囲を熱収縮チューブにより固定及び絶縁を行う構造となっている。

泊2号炉の直ジョイントの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉で使用されている直ジョイントの使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部位
①	隔壁付スリーブ
②	熱収縮チューブ

図2.1-2 泊2号炉 直ジョイントの構造図

表2.1-3 泊2号炉 直ジョイント主要部位の使用材料

部位	材料
隔壁付スリーブ	銅（錫メッキ）
熱収縮チューブ	難燃架橋ポリエチレン

表2.1-4 泊2号炉 直ジョイントの使用条件

	通常運転時	
	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
設置場所	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
周囲温度	約43℃*1	約40℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	大気圧
放射線	0.126Gy/h*3	8.5×10^{-3} Gy/h*4

*1：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル接続部周囲の平均線量率の最大実測値

*4：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.1.3 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続

(1) 構造

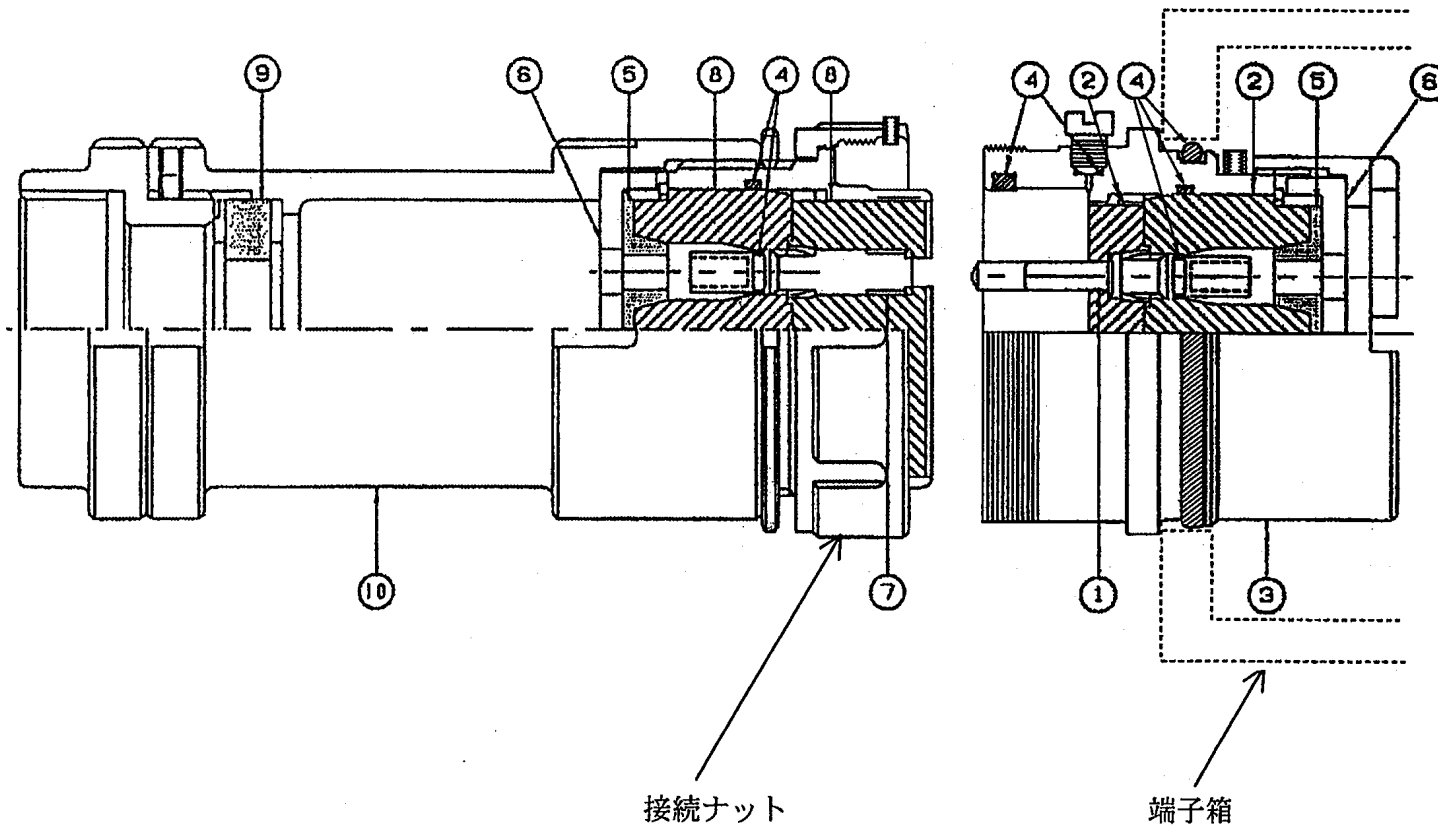
泊2号炉に使用している原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続は、オスコンタクトとメスコンタクトを接続し、レセプタクルシェルをねじ込むことにより接続部分が固定される構造となっている。

また、オスコンタクト及びメスコンタクトは、オス絶縁物及びメス絶縁物により外部との絶縁を保っている。

泊2号炉の原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉で使用されている原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部位
①	オスコンタクト
②	オス絶縁物
③	レセプタクルシェル
④	Oリング
⑤	シーリングブッシュ
⑥	シーリングワッシャ
⑦	メスコンタクト
⑧	メス絶縁物
⑨	ゴムブッシュ
⑩	プラグシェル

図2.1-3 泊2号炉 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続の構造図

表2.1-5 泊2号炉 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続主要部位の使用材料

部位	材料
オスコンタクト	銅(金メッキ)
オス絶縁物	ジアリルフタレート樹脂
レセプタクルシエル	銅合金(ニッケルメッキ)
Oリング	エチレンプロピレンゴム
シーリングブッシュ	エチレンプロピレンゴム
シーリングワッシャ	銅合金(ニッケルメッキ)
メスコンタクト	銅(金メッキ)
メス絶縁物	ジアリルフタレート樹脂
ゴムブッシュ	エチレンプロピレンゴム
プラグシエル	銅合金(ニッケルメッキ)

表2.1-6 泊2号炉 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器内
周囲温度	約43°C*1
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下
放射線	0.126Gy/h*2

*1: 通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

*2: 通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル接続部周囲の平均線量率の最大実測値

2.1.4 三重同軸コネクタ接続－1

(1) 構造

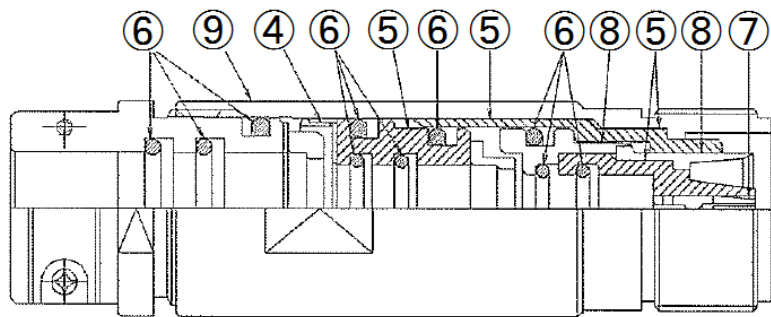
泊2号炉に使用している三重同軸コネクタ接続－1は、ピンコンタクト及びソケットコンタクト、1SコンタクトP及び1SコンタクトJを接続し、プラグボディをジャックボディにねじ込むことにより接続部分が固定される構造となっている。

また、コンタクト部は、絶縁物により線間及び外部との絶縁を保っている。

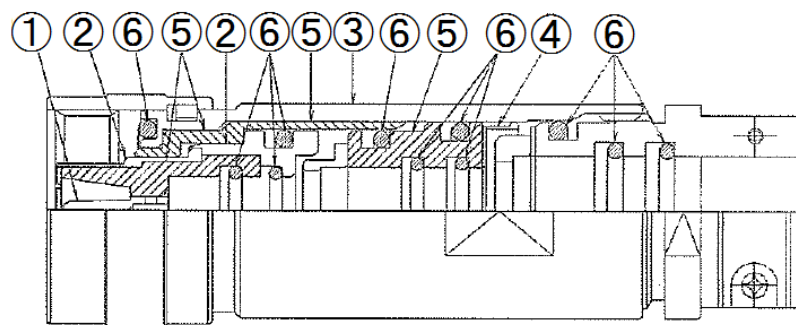
泊2号炉の三重同軸コネクタ接続－1の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉で使用されている三重同軸コネクタ接続－1の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。



ジャック



プラグ

No.	部位
①	ピンコンタクト
②	1SコンタクトP
③	プラグボディ
④	割りリング
⑤	絶縁物
⑥	Oリング
⑦	ソケットコンタクト
⑧	1SコンタクトJ
⑨	ジャックボディ

図2.1-4 泊2号炉 三重同軸コネクタ接続-1の構造図

表2.1-7 泊2号炉 三重同軸コネクタ接続-1 主要部位の使用材料

部位	材料
ピンコンタクト	銅合金（金メッキ）
1SコンタクトP	銅合金（金メッキ）
プラグボディ	銅合金（ニッケルメッキ）
割りリング	銅合金（ニッケルメッキ）
絶縁物	架橋ポリスチレン
Oリング	エチレンプロピレンゴム
ソケットコンタクト	銅合金（金メッキ）
1SコンタクトJ	銅合金（金メッキ）
ジャックボディ	銅合金（ニッケルメッキ）

表2.1-8 泊2号炉 三重同軸コネクタ接続-1 の使用条件

	通常運転時	
	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
設置場所	原子炉格納容器内	原子炉格納容器外
周囲温度	約43℃*1	約40℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	大気圧
放射線	0.126Gy/h*3	8.5×10^{-3} Gy/h*4

*1：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値

*2：原子炉格納容器外的设计平均温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内ケーブル接続部周囲の平均線量率の最大実測値

*4：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ケーブル接続部の主な機能である電力や計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 通電・絶縁機能の維持
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ケーブル接続部個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

ケーブル接続部の熱収縮チューブ（直ジョイント）、オス絶縁物、メス絶縁物（原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続）及び絶縁物（三重同軸コネクタ接続-1）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

また、ケーブル接続部のOリング（気密端子箱接続、原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続及び三重同軸コネクタ接続-1）、LCモールド（気密端子箱接続）、シーリングブッシュ及びゴムブッシュ（原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、気密性の低下を起こすことにより湿気が接続部内部に侵入する可能性がある。湿気が侵入することにより、接続部の絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 端子台の絶縁低下 [気密端子箱接続]

端子台は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、端子台は気密された接続箱内に設置され、塵埃の付着により表面が汚損する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

(2) ボックスコネクタの腐食（全面腐食） [気密端子箱接続]

ボックスコネクタは銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視により状態を確認し、腐食が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 架台の腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続〕

架台は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) オスコンタクト等の腐食（全面腐食）〔原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続，三重同軸コネクタ接続－1〕

オスコンタクト，レセプタクルシェル，シーリングワッシャ，メスコンタクト及びプラグシェル（原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続），ピンコンタクト，ISコンタクトP，プラグボディ，割りリング，ソケットコンタクト，ISコンタクトJ及びジャックボディ（三重同軸コネクタ接続－1）は銅又は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、ニッケルメッキ又は金メッキを施すことにより腐食を防止しており、系統機器点検時の目視確認により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(6) 端子等の腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続，直ジョイント〕

端子，端子台（気密端子箱接続）及び隔壁付スリーブ（直ジョイント）は銅又は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら，端子及び端子台はニッケルメッキ又は錫メッキを施すことにより腐食を防止しており，更に密封された構造であり，腐食が発生する可能性はないことから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また，隔壁付スリーブは構造上端子部が熱収縮チューブにて密封されており，腐食が発生する可能性はないことから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1(1/4) 泊2号炉 気密端子箱接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考
				絶縁 低下	導通 不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	端子		銅（錫メッキ）				▲			
	端子台		磁器，銅合金 （ニッケルメッキ）	△			▲			
	端子箱		ステンレス鋼							
	蓋板		ステンレス鋼							
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	LCモールド		エチレンプロピレンゴム，銅	○						
	押え金具		ステンレス鋼							
	ボックスコネクタ		銅合金				△			
機器の支持	架台		炭素鋼				△			
	取付ボルト		ステンレス鋼							
	基礎ボルト		炭素鋼				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/4) 泊2号炉 直ジョイントに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	隔壁付スリーブ		銅（錫メッキ）				▲			
	熱収縮チューブ		難燃架橋ポリエチレン	○						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/4) 泊2号炉 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考	
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ		その他
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	オスコンタクト		銅（金メッキ）				△			
	オス絶縁物		ジアリルフタレート樹脂	○						
	レセプタクルシェル		銅合金（ニッケルメッキ）				△			
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	シーリングブッシュ		エチレンプロピレンゴム	○						
	シーリングワッシャ		銅合金（ニッケルメッキ）				△			
	メスコンタクト		銅（金メッキ）				△			
	メス絶縁物		ジアリルフタレート樹脂	○						
	ゴムブッシュ		エチレンプロピレンゴム	○						
	プラグシェル		銅合金（ニッケルメッキ）				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 泊2号炉 三重同軸コネクタ接続-1に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考
				絶縁 低下	導通 不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	ピンコンタクト		銅合金 (金メッキ)				△			
	ISコンタクトP		銅合金 (金メッキ)				△			
	プラグボディ		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			
	割りリング		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			
	絶縁物		架橋ポリスチレン	○						
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	ソケットコンタクト		銅合金 (金メッキ)				△			
	ISコンタクトJ		銅合金 (金メッキ)				△			
	ジャックボディ		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

a. 事象の説明

ケーブル接続部の熱収縮チューブ（直ジョイント）、オス絶縁物、メス絶縁物（原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続）及び絶縁物（三重同軸コネクタ接続-1）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

また、ケーブル接続部のOリング（気密端子箱接続、原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続及び三重同軸コネクタ接続-1）、LCモールド（気密端子箱接続）、シーリングブッシュ及びゴムブッシュ（原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、気密性の低下を起こすことにより湿気が接続部内部に侵入する可能性がある。湿気が侵入することにより、接続部の絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

ケーブルの接続部はIEEE Std. 323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std. 323-1974」という。）及びIEEE Std. 383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std. 383-1974」という。）に準拠して、実機同等品による長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき健全性評価を行った。IEEE Std. 323-1974及びIEEE Std. 383-1974に基づく試験手順及び判定方法を図2.3-1に示す。

ケーブル接続部の長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-1～表2.3-8に示す。

試験条件は、泊2号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

劣化試験後に、耐電圧試験又は導通試験により絶縁機能が維持されていることを確認しており、泊2号炉で使用しているケーブル接続部は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

供試ケーブル接続部

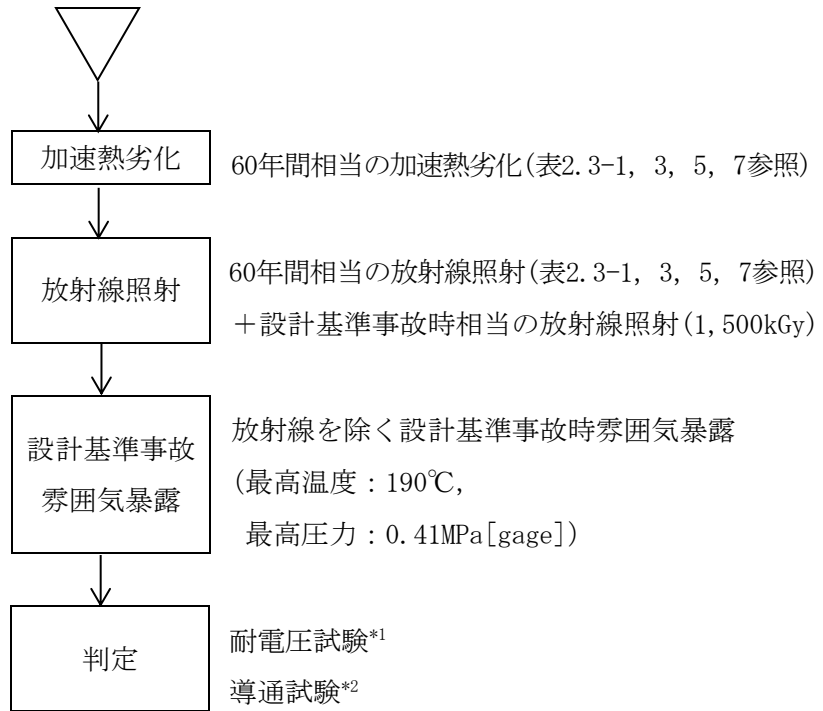


図2.3-1 ケーブル接続部の長期健全性試験手順及び判定方法

- *1 耐電圧試験：規定電圧を規定時間印加し，絶縁破壊を生じるか否かを調べる。
(原子炉格納容器内電動弁コネクタを除く)
- *2 導通試験：試験後導通不良がないか調べる。
(原子炉格納容器内電動弁コネクタ)

表2.3-1 気密端子箱接続の長期健全性試験条件

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
通常 運相 転当	温度	121℃-7日	103℃-7日 (=50℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h)	67kGy*2
設計 基事 準故 相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h)	(冷温停止状態では考慮不要)
	温度	最高温度：190℃	(冷温停止状態では考慮不要)
	圧力	最高圧力：0.41MPa [gage]	(冷温停止状態では考慮不要)

*1：原子炉格納容器内でのケーブル周囲温度（約43℃）に若干の余裕を加えた温度として設定した。

*2： $0.126[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 67\text{kGy}$

表2.3-2 気密端子箱接続の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 2,000V 1分	良

(出典：メーカーデータ)

表2.3-3 直ジョイントの長期健全性試験条件

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
通常 運相 転当	温 度	121℃－7日	110℃－7日*2 (=50℃*1－60年)
	放 射 線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	67kGy*3
設 計 基 事 準 故 相 当	放 射 線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	(冷温停止状態では考慮不要)
	温 度	最高温度：190℃	(冷温停止状態では考慮不要)
	圧 力	最高圧力：0.41MPa[gage]	(冷温停止状態では考慮不要)

*1：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約43℃）に若干の余裕を加えた温度として設定した。

*2：熱収縮チューブ材料に対する試験条件

*3： $0.126[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 67\text{kGy}$

表2.3-4 直ジョイントの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 2,600V 5分	良

(出典：メーカーデータ)

表2.3-5 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続の長期健全性試験条件

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
通常 運相 転当	温度	138℃－12.5日	99℃-12.5日*2(=50℃*1-60年) 131℃-12.5日*3(=50℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	700kGy (10kGy/h)	67kGy*4
設計 基事 準故 相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h)	(冷温停止状態では考慮不要)
	温度	最高温度：215℃	(冷温停止状態では考慮不要)
	圧力	最高圧力：0.49MPa[gage]	(冷温停止状態では考慮不要)

*1：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約43℃）に若干の余裕を加えた温度として設定した。

*2：Oリング等の気密材料に対する試験条件

*3：絶縁材料に対する試験条件

*4： $0.126[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 67\text{kGy}$

表2.3-6 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
導通試験	通電が可能なこと	良

(出典：メーカーデータ)

表2.3-7 三重同軸コネクタ接続-1の長期健全性試験条件

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
通常 運相 転当	温度	121℃-7日	103℃-7日*2(=50℃*1-60年) 71℃-7日*3(=50℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	67kGy*4
設計 基事 準故 相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	(冷温停止状態では考慮不要)
	温度	最高温度：190℃	(冷温停止状態では考慮不要)
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	(冷温停止状態では考慮不要)

*1：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約43℃）に若干の余裕を加えた温度として設定した。

*2：Oリングの気密材料に対する試験条件

*3：絶縁材料に対する試験条件

*4： $0.126[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 67\text{kGy}$

表2.3-8 三重同軸コネクタ接続-1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	DC 3,000V 1分	良

(出典：メーカーデータ)

② 現状保全

絶縁物等の絶縁低下に対しては、制御・計装用ケーブル接続部については、定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、絶縁低下による機能低下のないことを確認している。

電力用ケーブル接続部については、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、絶縁物等の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

絶縁物等の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

なお、より実機条件に即した電気・計装設備の長期健全性評価手法の構築に関する検討が国プロジェクト「電気・計装設備の健全性評価技術調査研究」で実施されており、今後その成果の反映を検討していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表となっていないケーブル接続部への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開し、ケーブル接続部各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 一般端子接続
- ② 端子台接続
- ③ 原子炉格納容器外電動弁コネクタ接続
- ④ 加圧器ヒータコネクタ接続
- ⑤ 三重同軸コネクタ接続－2
- ⑥ 複合同軸コネクタ接続

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

絶縁物等は事故時雰囲気内で機能要求がないが、代表機器と同じ有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁物等の絶縁低下は系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、一般端子接続等の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定を実施していく。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 端子等の腐食（全面腐食）〔共通〕

ケーブル接続部の端子等は銅又は銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、全て錫メッキ、ニッケルメッキ、銀メッキ又は金メッキを施すことにより腐食を防止しており、系統機器点検時の目視確認又は抵抗測定により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

泊発電所 2 号炉

電気設備の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

北海道電力株式会社

泊発電所2号炉（以下、泊2号炉という。）の電気設備のうち、評価対象機器である重要度分類指針におけるクラス1、2及び高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器であって、冷温停止状態維持に必要な機器について、電圧区分及び設置場所等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、仕様、使用条件等の観点から代表機器を選定した。これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

本評価書においては、これら代表機器について技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。

本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

なお、冷温停止状態維持を前提とした本評価書では、「特別な保全計画」を含め、現状保全では「定期的」と記載するとともに、その上で点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

本評価書では電気設備の型式等を基に、以下の機器に分類している。

- 1 メタルクラッド開閉装置（メタクラ）
- 2 動力変圧器
- 3 パワーセンタ
- 4 コントロールセンタ

本評価書では経年劣化事象の評価のうち、劣化の観点から、冷温停止状態維持の前提に比べ、断続的運転の前提の方が条件が厳しいものは、断続的運転の条件による評価としている。

表 1 (1/4) 泊 2 号炉 主要な電気設備 メタクラ

機器名称 (群数)	仕様	重要度*1	使用条件			内蔵遮断器		
			運転 状態*2	定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)	投入 方式	定格電流 (A) (最大)	遮断電流 (kA)
メタクラ (安全系) (2)	高圧閉鎖形 母線定格電流 1,200A	MS-1	連続 [連続]	6,900	約 35	ばね	1,200	40

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：上段は断続的運転時，下段の [] は冷温停止状態時の運転状態を示す。

表 1 (2/4) 泊 2 号炉 主要な電気設備 動力変圧器

機器名称 (台数)	仕様 容量 (kVA)	重要度*1	使用条件		
			運転 状態*2	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (°C)
動力変圧器 (安全系) (2)	2,800	MS-1	連続 [連続]	6,900	約 35

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：上段は断続的運転時，下段の [] は冷温停止状態時の運転状態を示す。

表 1 (3/4) 泊 2 号炉 主要な電気設備 パワーセンタ

機器名称 (群数)	仕様	重要度*1	使用条件			内蔵遮断器		
			運転 状態*2	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (℃)	投入方式	定格電流 (A) (最大)	遮断電流 (kA)
パワーセンタ (安全系) (2)	気中遮断器内蔵 低圧閉鎖形 母線定格電流4,000A	MS-1	連続 [連続]	460	約35	ばね	4,000	90
						ばね	1,600	50

*1 : 機能は最上位の機能を示す。

*2 : 上段は断続的運転時, 下段の [] は冷温停止状態時の運転状態を示す。

表 1 (4/4) 泊 2 号炉 主要な電気設備 コントロールセンタ

分離基準		機器名称 (群数)	仕様	選定基準			代表機器の選定		
電圧区分	設置場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
					運転 状態*2	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (℃)		
低圧	屋内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (4)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	MS-1	連続 [連続]	440	約 35	◎	定格電流
		ディーゼル発電機コントロールセンタ (2)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-1	連続 [連続]	440	約 40		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：上段は断続的運転時，下段の [] は冷温停止状態時の運転状態を示す。

表2 泊2号炉 電気設備機器の機能

機器名	機能
メタクラ	発電所内高圧電源系統を構成する装置であり、高圧機器及び発電所内低圧電源系統への電源供給と保護を行う。
動力変圧器	メタクラから供給される電力の電圧を1/15に降圧してパワーセンタに供給する機器。
パワーセンタ	発電所内低圧電源系統を構成する装置であり、低圧機器（充てんポンプ用電動機等）及びコントロールセンタへの電源供給と保護を行う。
コントロールセンタ	発電所内低圧電源系統を構成する装置であり、低圧機器（弁電動装置等）への電源の供給と保護を行う。

1 メタルクラッド開閉装置 (メタクラ)

[対象機器]

- ① メタクラ (安全系)

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. メタクラ（安全系）の技術評価	2
2.1 構造，材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	13

1. 技術評価対象機器

泊2号炉で使用されているメタクラの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 泊2号炉 メタクラの主な仕様

機器名称 (群数)	仕様	重要度*1	使用条件			内蔵遮断器		
			運転 状態*2	定格 電圧 (V)	周囲 温度 (°C)	投入 方式	定格 電流 (A) (最大)	遮断 電流 (kA)
メタクラ (安全系) (2)	高圧閉鎖形 母線定格 電流1,200A	MS-1	連続 [連続]	6,900	約35	ばね	1,200	40

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：上段は断続的運転時，下段の [] は冷温停止状態時の運転状態を示す。

2. メタクラ（安全系）の技術評価

2.1 構造，材料及び使用条件

2.1.1 メタクラ（安全系）

(1) 構造

泊2号炉のメタクラ（安全系）は，定格電圧6,900V，定格電流1,200Aの高圧閉鎖形であり，2群設置されている。

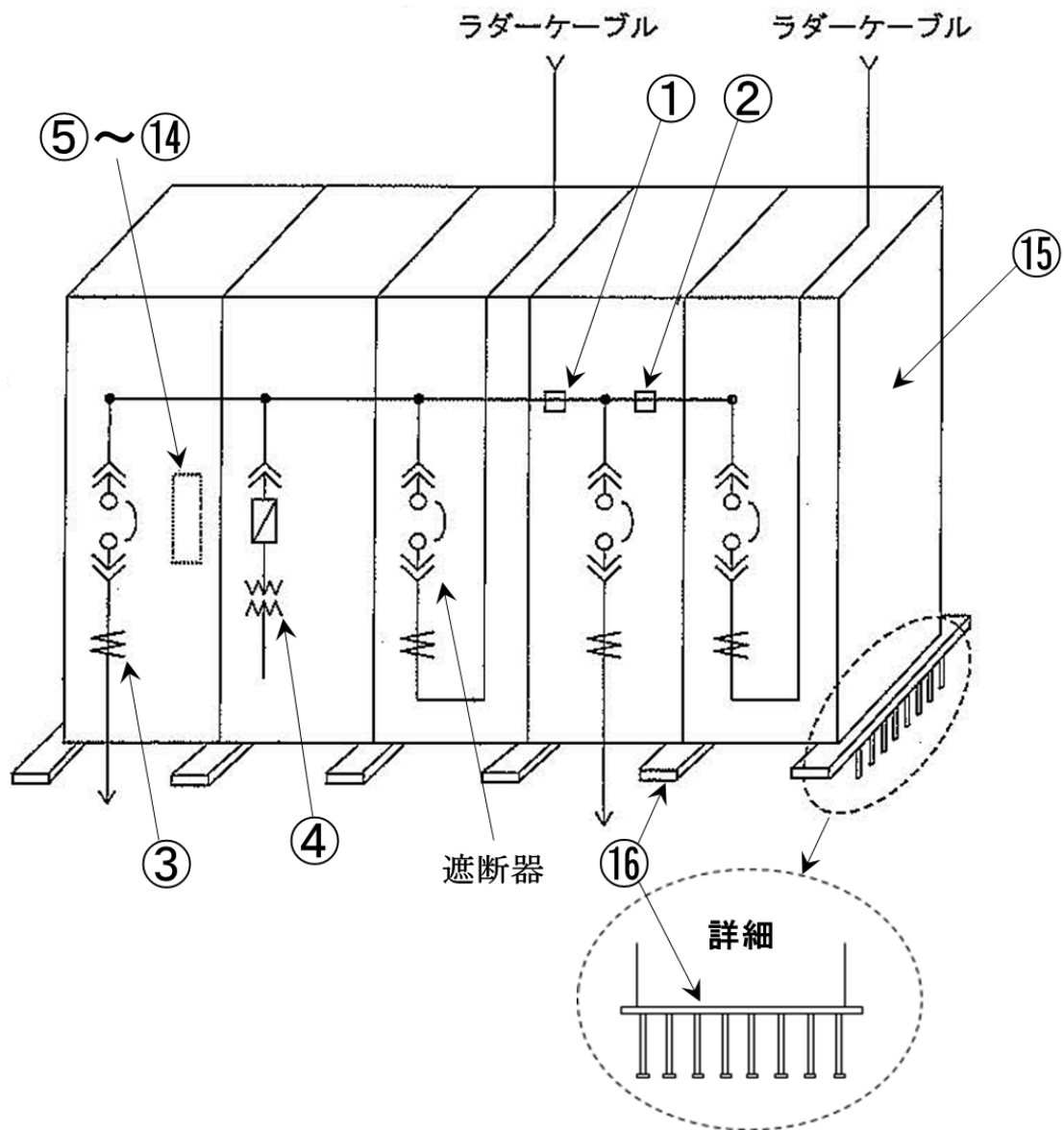
ガス遮断器を内蔵しており，回路の保護・制御のために計器用変流器，計器用変圧器等を収納している。

遮断器の投入は，投入ばねによって行う構造となっている。また，遮断器の開放は，投入時に蓄勢された引外しばねによって行う構造となっている。

泊2号炉のメタクラ（安全系）構成図を図2.1-1に，ガス遮断器構造図を図2.1-2に，ガス遮断器操作機構構造図を図2.1-3に示す。

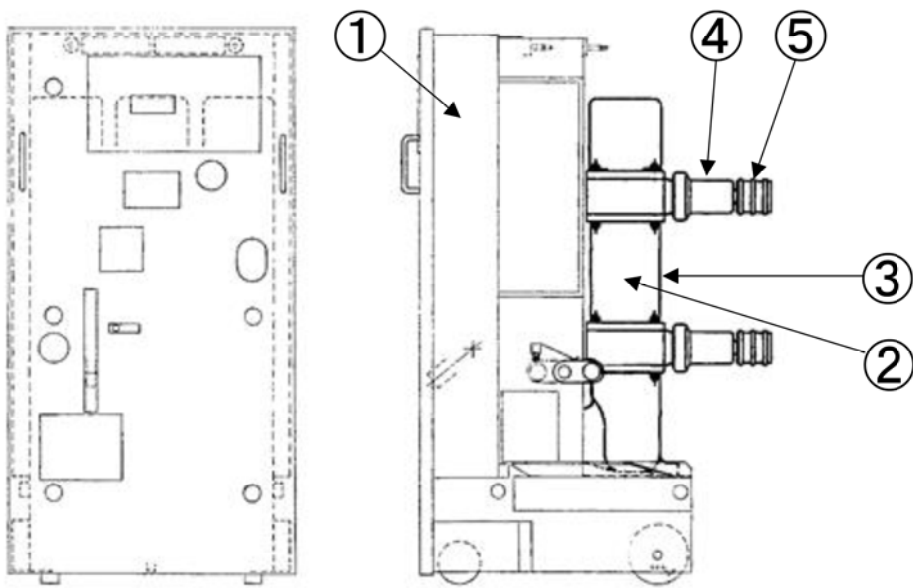
(2) 材料及び使用条件

泊2号炉のメタクラ（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



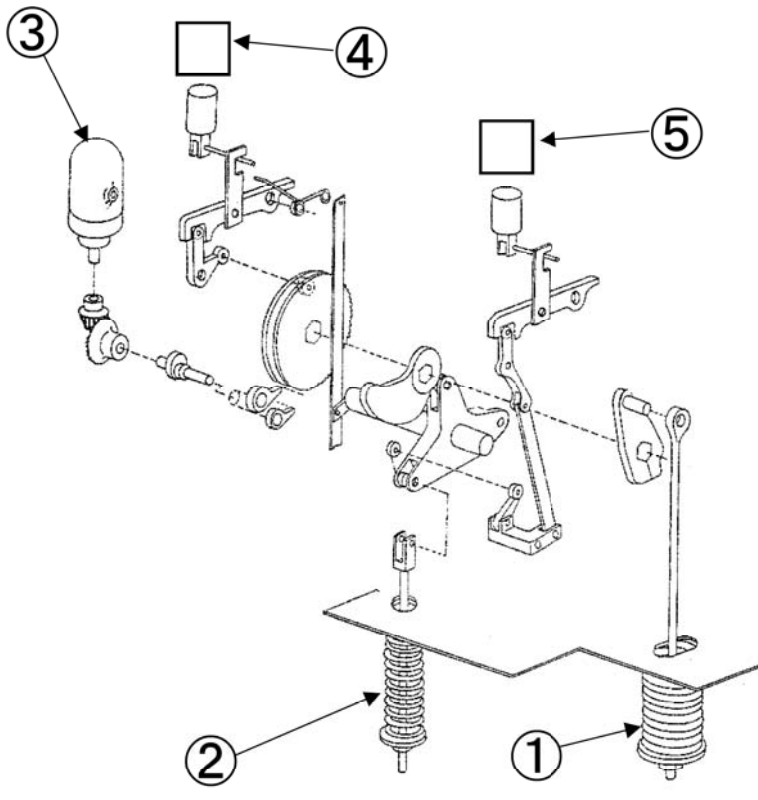
No.	部位	No.	部位
①	主回路導体	⑨	表示灯
②	支持碍子	⑩	ノーヒューズブレーカ
③	計器用変流器	⑪	電磁接触器
④	計器用変圧器	⑫	タイマ
⑤	保護継電器	⑬	ヒューズ
⑥	操作スイッチ	⑭	ロックアウトリレー
⑦	指示計	⑮	筐体
⑧	補助リレー	⑯	埋込金物

図2.1-1 泊2号炉 メタクラ (安全系) 構成図



No.	部位
①	操作機構
②	接触子
③	消弧室
④	注型ブッシング
⑤	1次ジャンクション

図2.1-2 泊2号炉 メタクラ (安全系) ガス遮断器構造図



No.	部位
①	投入ばね
②	引外しばね
③	ばね蓄勢用モータ
④	投入コイル
⑤	引外しコイル

図2.1-3 泊2号炉 メタクラ (安全系) ガス遮断器操作機構構造図

表2.1-1 泊2号炉 メタクラ（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
遮断器	操作機構	クロムモリブデン鋼
	接触子	銅，銅タングステン
	消弧室	アルミニウム合金鋳物
	注型ブッシング	エポキシ樹脂（B種絶縁）
	1次ジャンクション	銅
	ばね（投入・引外し）	ばね鋼
	ばね蓄勢用モータ	銅線，ポリアミドイミド（H種絶縁）
	投入コイル	銅線，ポリビニルホルマール樹脂（A種絶縁）
	引外しコイル	銅線，ポリビニルホルマール樹脂（A種絶縁）
盤構成部品	主回路導体	アルミニウム合金，銅
	支持碍子	磁器
	計器用変流器	銅線，ポリオレフィンゴム（A種絶縁）
	計器用変圧器	銅線，エポキシ樹脂（A種絶縁）
	保護継電器（静止形）	消耗品・定期取替品
	保護継電器（機械式）	コイル，銅線，ホルマール樹脂及びフェノール樹脂（A種絶縁）
	操作スイッチ	消耗品・定期取替品
	指示計	消耗品・定期取替品
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	表示灯	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	電磁接触器	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	ヒューズ	消耗品・定期取替品
ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品	
支持組立品	筐体	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 泊2号炉 メタクラ（安全系）の使用条件

周囲温度	約35℃*1
短時間電流強度	40kA 2秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格電圧	6,900V

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

メタクラ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

メタクラ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造，材料，使用条件及び現在までの運転経験を考慮し，表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) ばね蓄勢用モータの絶縁低下

ばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性があることから，経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁物は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁低下を起こす可能性があることから，経年劣化に対する評価が必要である。

(3) 保護継電器（機械式）の絶縁低下

保護継電器（機械式）の絶縁物は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁低下を起こす可能性があることから，経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 操作機構（遮断器）の固着

遮断器の操作機構は、長期使用に伴いグリスが固化し、動作特性の低下が想定される。

しかしながら、注油、各部の目視確認、動作試験を実施することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 注型ブッシング（遮断器）の絶縁低下

遮断器の注型ブッシングは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、注型ブッシングは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度100℃に対して、注型ブッシングの耐熱温度は130℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 1次ジャンクション（遮断器）の摩耗

遮断器の1次ジャンクションは、盤からの引き出しに伴う摩耗が想定される。

しかしながら、機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) ばね（遮断器）の変形（応力緩和）

遮断器の投入ばねは開放状態にて、また引外しばねは投入状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 投入コイル及び引外しコイル（遮断器）の絶縁低下

遮断器の投入コイル及び引外しコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、投入コイル及び引外しコイルは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、投入コイル及び引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と小さいことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（A種：許容最高温度105℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体はアルミニウム合金及び銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、エポキシ樹脂により腐食を防止しており、機器点検時の目視確認により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 支持碍子の絶縁低下

支持碍子は無機物の磁器であり，経年劣化の可能性はない。

なお，長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら，支持碍子は筐体に内蔵しているため，塵埃が付着しにくい環境にある。

また，機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 保護継電器（機械式）の特性変化

保護継電器（機械式）は，長期間の使用に伴い，回転軸及び軸受の機械的摩耗及び接点部分の電氣的摩耗，損傷等により動作特性の変化が想定される。

しかしながら，保護継電器（機械式）は，「電気学会 電気規格調査会標準規格 電力用保護継電器(JEC-2500-1987)」に定める10,000回の耐久試験を型式試験として実施し，機構及び特性に異常を生じないことを確認しており，また，屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく，短期間での急激な特性変化が生じる可能性は小さいと考える。

また，回転軸受部・摺動部に油やグリスを使用していないことから，グリス等の固着により誘導円板の動作特性が変化することは考え難い。

更に，機器点検時の調整試験及び動作試験により，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(10) 埋込金物の腐食（大気接触部）（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(11) 接触子（遮断器）の摩耗

遮断器の接触子は、遮断器の開閉動作に伴う電流開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認で有意な摩耗は認められておらず、今後ともこれらの傾向が変化するとは考えがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(12) 消弧室（遮断器）の汚損

遮断器の消弧室は、遮断器の電流遮断動作に伴う消弧室でのアーク消弧により汚損した場合、消弧性能の低下が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認で有意な汚損は認められておらず、今後ともこれらの傾向が変化するとは考えがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(13) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

保護継電器（静止形）、操作スイッチ、指示計、補助リレー、表示灯、ノーヒューズブレーカ、電磁接触器、タイマ及びロックアウトリレーは動作確認の結果に基づき取替える消耗品である。また、ヒューズについては定期取替品である。

いずれも、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 泊2号炉 メタクラ（安全系）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 品	消耗品 ・定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象								備 考
				減 肉		割 れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	絶縁 低下	導通 不良	特性 変化		
遮断器能の 維持 通電・絶縁 機能の維持	遮断器		クロムモリブデン鋼								△*1	*1:固着 *2:汚損 *3:変形(応力 緩和) *4:大気接触 部の腐食 *5:コンクリ ート埋設 部の腐食
			銅, 銅タングステン	▲								
			アルミニウム合金鋳物								▲*2	
			エポキシ樹脂					△				
			銅	△								
			ばね鋼								△*3	
			銅線, ポリアミドイミド					○				
			銅線, ポリビニルホルマール樹脂					△				
			銅線, ポリビニルホルマール樹脂					△				
			アルミニウム合金, 銅			△						
			磁器				△					
機器の保 護・監視機 能の維持			銅線, ポリオレフィンゴム					○				
			銅線, エポキシ樹脂					○				
	◎	—										
			コイル, 銅線, ホルマール樹脂, フェノール樹脂					○		△		
	◎	—										
	◎	—										
	◎	—										
	◎	—										
	◎	—										
	◎	—										
	◎	—										
	◎	—										
	◎	—										
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△*4 ▲*5							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 ばね蓄勢用モータの絶縁低下

a. 事象の説明

ばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下が生じる可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

ばね蓄勢用モータは密閉構造のため，塵埃及び湿分が付着しにくい環境にある。また，モータは連続運転ではなく遮断器投入後に作動するもので，作動時間も数秒と短いことから，モータの発熱による温度上昇は小さいと考えられ，使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（H種：許容最高温度180℃）を使用していることから，絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが，60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

② 現状保全

ばね蓄勢用モータの絶縁低下に対しては，定期的な絶縁抵抗測定により，許容値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して，ばね蓄勢用モータの絶縁低下の可能性は否定できないが，絶縁低下は，絶縁抵抗測定で検知可能であり，点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ばね蓄勢用モータの絶縁低下については，定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

2.3.2 計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下

a. 事象の説明

計器用変流器及び計器用変圧器は、熱的、電氣的、環境的要因で経年的変化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下については、絶縁物内の微小欠陥における部分放電の長期継続により絶縁物の劣化の形で進行し、最終的に絶縁破壊に至ることから、電気特性試験における部分放電消滅電圧及び部分放電電荷量の測定結果を、「電気学会 電気規格調査会標準規格 計器用変成器（保護継電器用）（JEC-1201-1996）」、「日本工業規格 計器用変成器－（標準用及び一般計測用）第1部：変流器（JIS C 1731-1:1998）」及び「日本工業規格 計器用変成器－（標準用及び一般計測用）第2部：計器用変圧器（JIS C 1731-2:1998）」に基づく基準値と比較することにより、絶縁性能状態を把握する。

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下に関する健全性評価として、2001年に電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」を実施した。

図2.3-1に示すように、60年相当の課電劣化試験*1及び熱サイクル試験*2による健全性調査の結果、部分放電消滅電圧が数台については劣化傾向を示したものの劣化の程度は緩やかであり、かつ基準値以上であること、また、部分放電電荷量は測定限界値以下であり増加傾向は認められないことから、絶縁性能に問題のないことを確認している。

*1：課電電圧の上昇及び下降の繰返しによる絶縁劣化を、メーカー独自の寿命評価手法による試験電圧及び試験周波数により加速劣化させる試験

*2：0℃～80℃～0℃で通年（1年間）の温度上昇及び下降による熱応力の機械的ストレスを模擬した試験

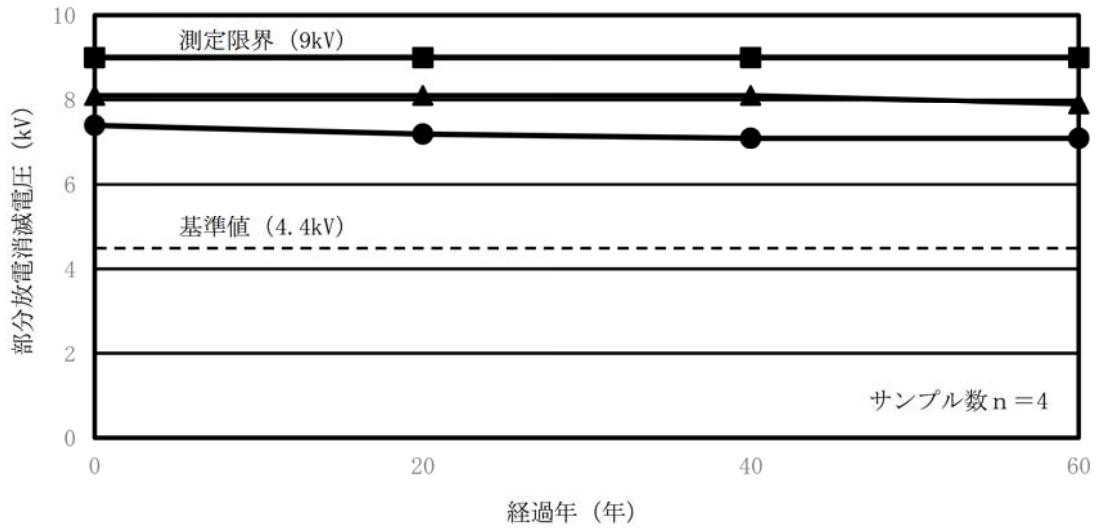


図2.3-1a 計器用変圧器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

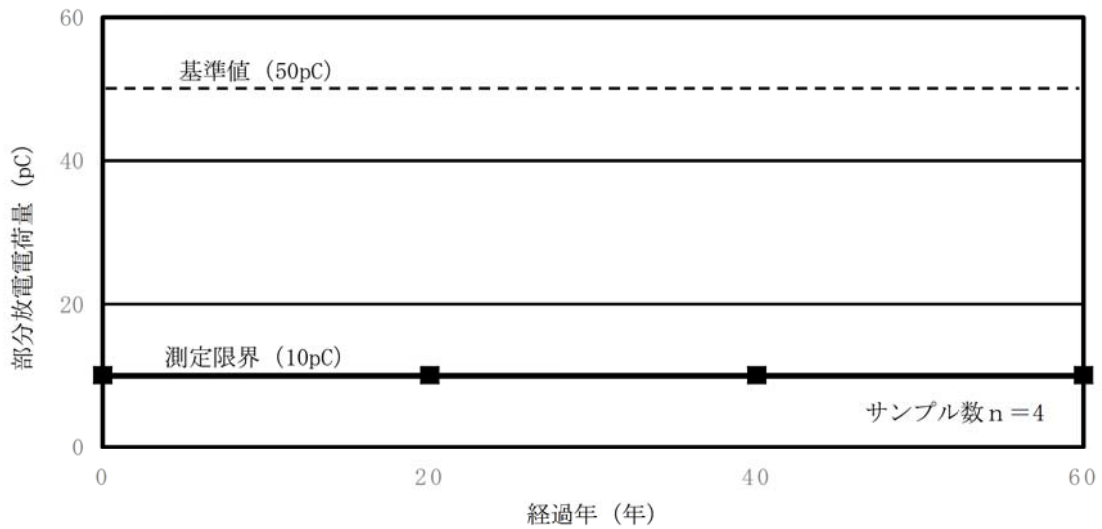


図2.3-1b 計器用変圧器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

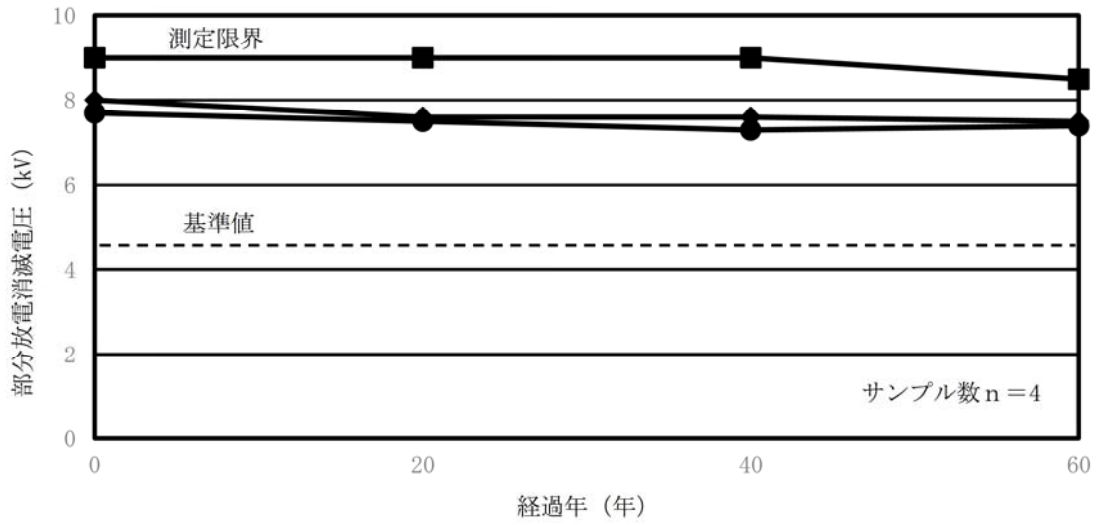


図2.3-1c 計器用変圧器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

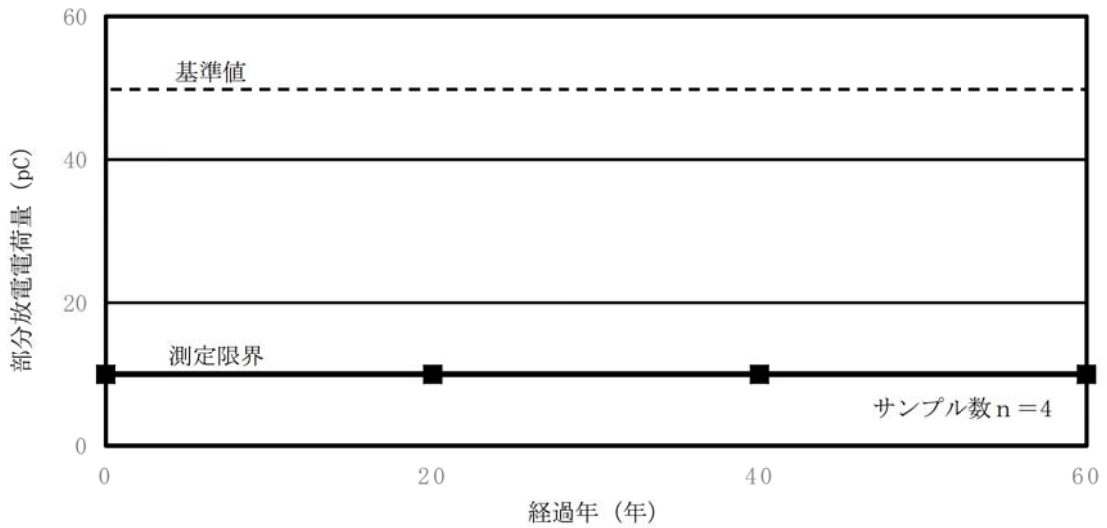


図2.3-1d 計器用変圧器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

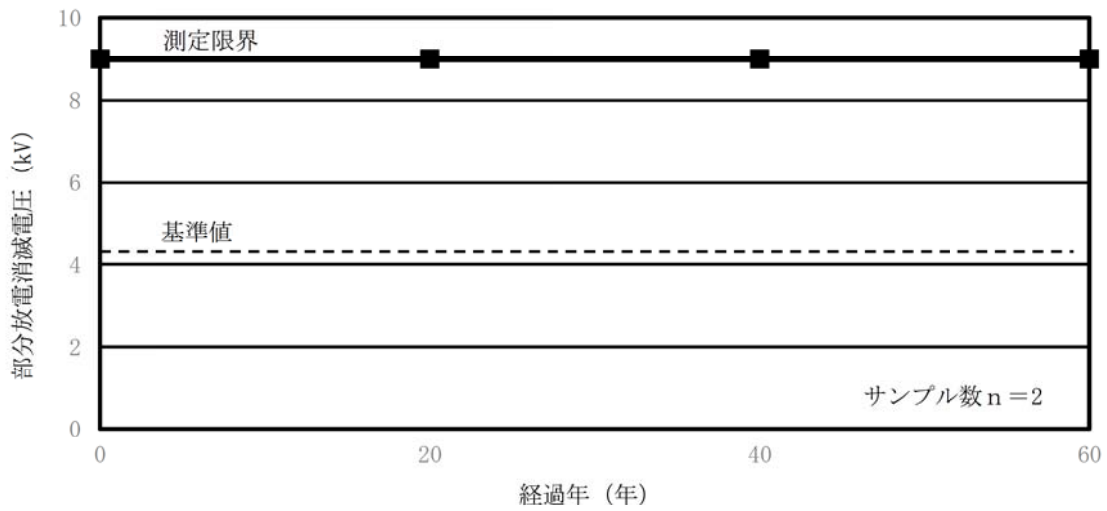


図2.3-1e 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

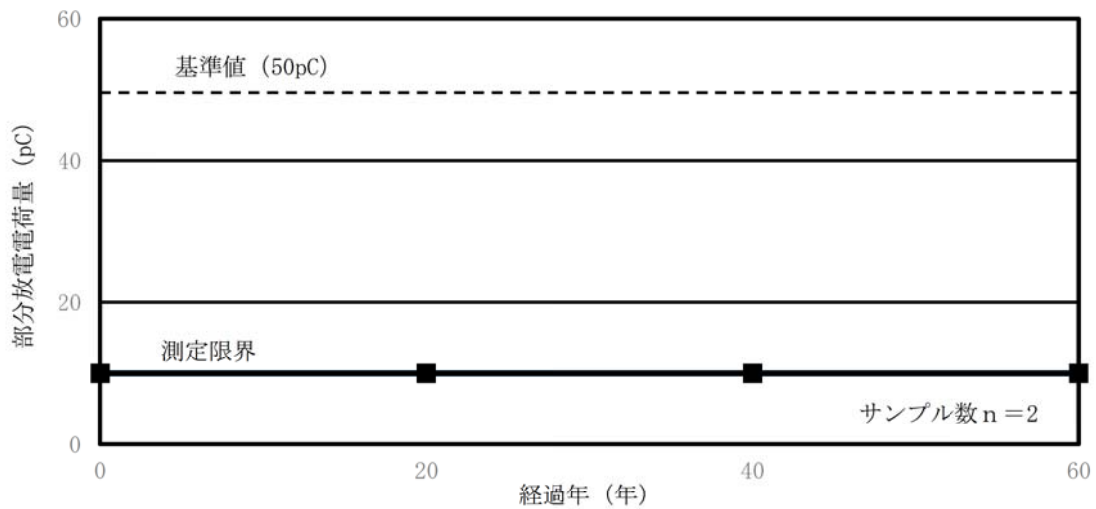


図2.3-1f 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

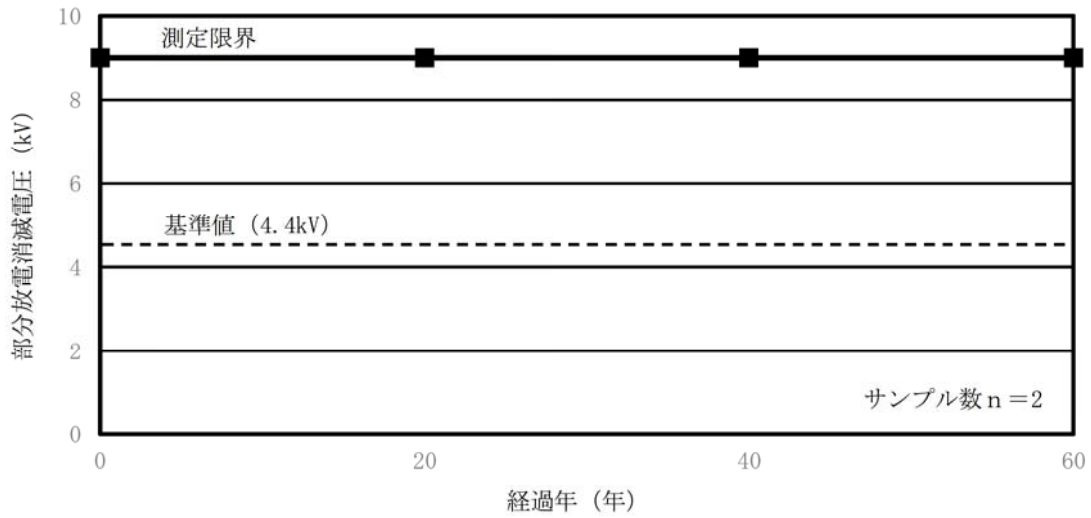


図2.3-1g 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

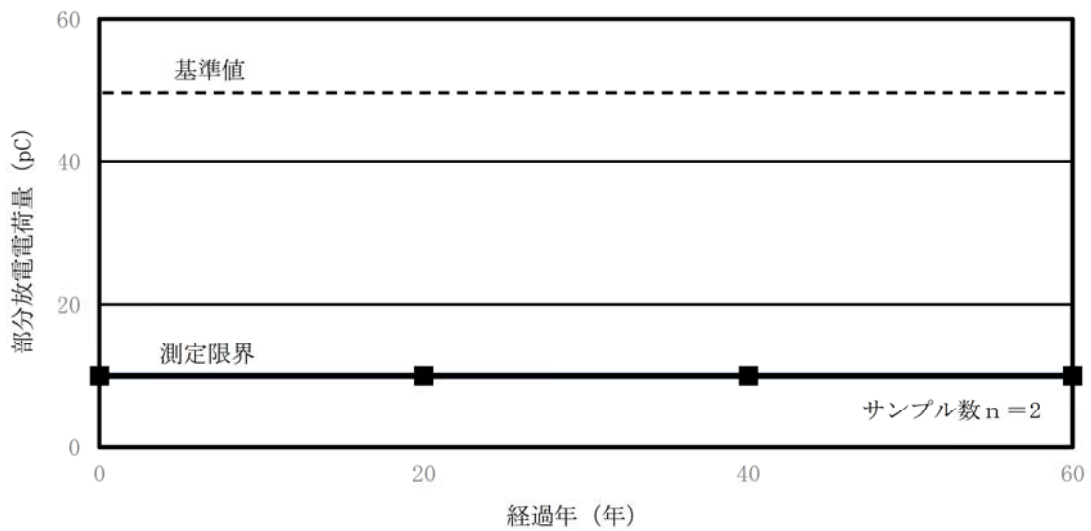


図2.3-1h 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

② 現状保全

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

2.3.3 保護継電器（機械式）の絶縁低下

a. 事象の説明

保護継電器内部に使用している入力トランスの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

保護継電器は、筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

保護継電器の絶縁低下については、同種保護継電器のサンプリング調査結果より評価を実施した。

図2.3-2は、保護継電器の絶縁破壊電圧と使用年数の関係を示している。この評価から、入力トランスの絶縁破壊電圧の95%信頼区間下限が判定基準に達するまでの期間は約40年であり、絶縁低下の可能性は否定できない。

なお、判定基準は、保護継電器の入力トランス絶縁仕様の耐電圧であるAC2,000V「電気学会 電気規格調査会標準規格 電力用保護継電器(JEC-2500-1987)」としている。

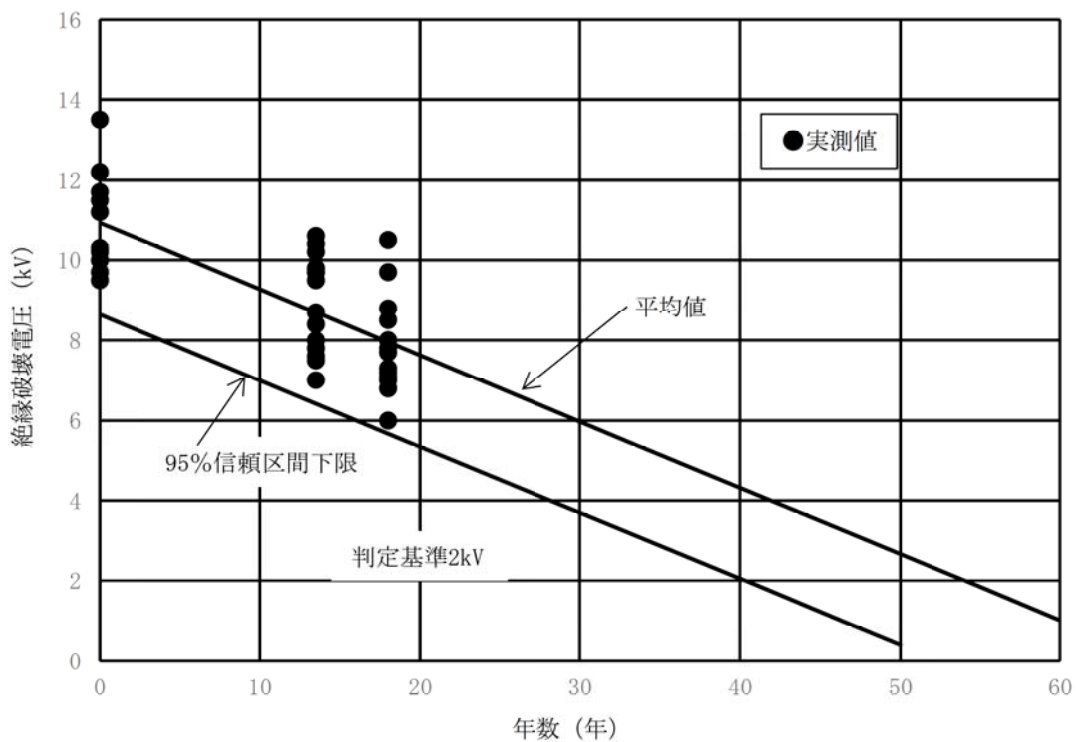


図2.3-2 保護継電器の絶縁破壊電圧と使用年数の関係

[出典：メーカーデータ]

② 現状保全

保護継電器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることを確認している。

なお、保護継電器は予防保全のため順次更新する計画としている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

保護継電器の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

2 動力変圧器

[対象機器]

- ① 動力変圧器 (安全系)

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 動力変圧器（安全系）の技術評価	2
2.1 構造，材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	10

1. 技術評価対象機器

泊2号炉で使用されている動力変圧器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 泊2号炉 動力変圧器の主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 容量 (kVA)	重要度*1	使用条件		
			運転 状態*2	定格 使用電圧 (V)	周囲 温度 (°C)
動力変圧器 (安全系) (2)	2,800	MS-1	連続 [連続]	6,900	約35

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：上段は断続的運転時，下段の [] は冷温停止状態時の運転状態を示す。

2. 動力変圧器（安全系）の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 動力変圧器（安全系）

(1) 構造

泊2号炉の動力変圧器（安全系）は、容量2,800kVA、高圧側電圧6,600V、低圧側電圧460Vの三相乾式変圧器であり、2台設置されている。

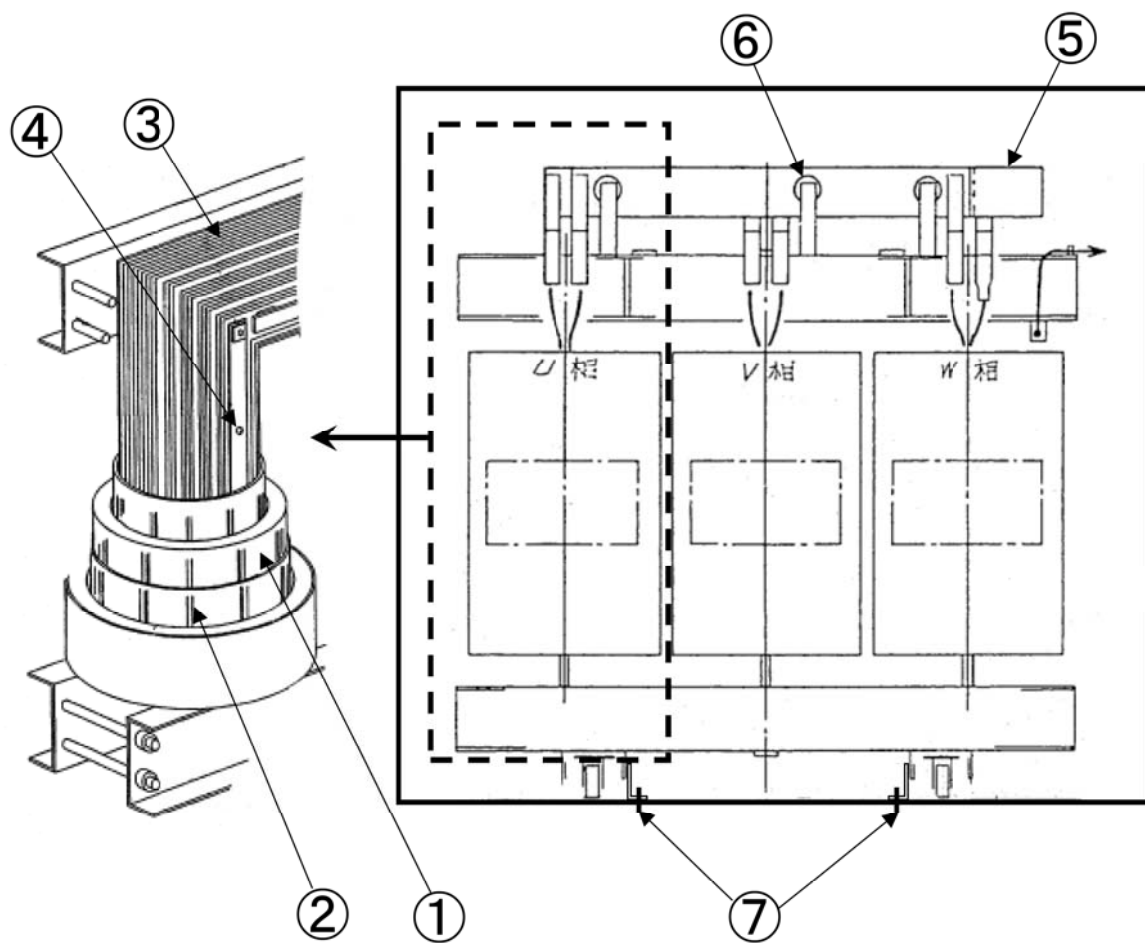
変圧器本体は電流回路となる巻線と磁気回路となる鉄心及び巻線の絶縁を保持する絶縁物から構成され、電磁誘導の原理に基づき電圧変成を行っている。

なお、巻線で発生する熱は、空気の自然対流により冷却される構造となっている。

泊2号炉の動力変圧器（安全系）の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の動力変圧器（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	コイル
②	垂直ダクト
③	鉄心
④	鉄心締付ボルト
⑤	接続銅板
⑥	銅板支持碍子
⑦	取付ボルト

図2.1-1 泊2号炉 動力変圧器（安全系）構成図

表2.1-1 泊2号炉 動力変圧器（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
巻線構成成品	コイル	銅線, ポリアミド紙 (H種絶縁)
	垂直ダクト	ポリエステルガラス
鉄心構成成品	鉄心	珪素鋼板
	鉄心締付ボルト	炭素鋼
配線構成成品	接続銅板	銅
支持組立品	銅板支持碍子	磁器
	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 泊2号炉 動力変圧器（安全系）の使用条件

容量	2,800kVA
周囲温度	約35°C*1
高圧側電圧	6,600V
低圧側電圧	460V

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

動力変圧器（安全系）の機能である電圧変成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 磁気回路の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

動力変圧器（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造，材料，使用条件及び現在までの運転経験を考慮し，表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) コイルの絶縁低下

コイルの絶縁物は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性があることから，経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 垂直ダクトの絶縁低下

コイル内に使用している垂直ダクトは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、動力変圧器は空調された屋内に設置されていることから表面の汚損や水分の付着による絶縁低下の可能性は小さい。

また、使用時の温度170℃に対して、垂直ダクトの耐熱温度は200℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 鉄心の緩み

鉄心は珪素鋼板の薄板を積層し締付け、組み立てられているが、運転中の振動・温度変化等により締付圧力が低下し、鉄心の緩みが想定される。

しかしながら、締付ボルトには回り止めが施されており、また、機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 接続銅板の腐食（全面腐食）

接続銅板は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装により腐食を防止しており、機器点検時の目視確認により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 銅板支持碍子の絶縁低下

銅板支持碍子は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、機器点検時の目視確認により汚損の有無を確認し、汚損が認められた場合は必要に応じて清掃を行うこととしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 鉄心締付ボルトの腐食（全面腐食）

鉄心締付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部はメッキにより腐食を防止しており、機器点検時に代表として鉄心上部の枠締付ボルトを目視確認することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており，メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，機器点検時の目視確認によりメッキ面の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 泊2号炉 動力変圧器（安全系）の想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
磁気回路の維持 通電・絶縁機能の維持	コイル		銅線, ポリアミド紙					○				*1:緩み
	垂直ダクト		ポリエステル ガラス					△				
	鉄心		珪素鋼板								△*1	
	接続銅板		銅		△							
	銅板支持碍子		磁器					△				
機器の支持	鉄心締付ボルト		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 コイルの絶縁低下

a. 事象の説明

コイルの絶縁物は、変圧器を運転している時には、コイルの発熱により温度が高くなるため、長期間の使用により熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起す可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

泊2号炉の動力変圧器（安全系）コイルのポリアミド紙平角銅線は、吸湿すると加水分解による強度低下が想定されるが、動力変圧器（安全系）は空調された室内に設置されており、吸湿が発生し難い環境にある。

また、動力変圧器の絶縁性能の長期特性は、約27年間原子力発電所で使用された実機変圧器を用いた試験で確認されている。

試験では、撤去した変圧器に60年相当の熱劣化を加えた後、「電気学会 電気規格調査会標準規格 変圧器(JEC-2200-1995)」に定められている初期耐電圧試験を実施し、絶縁性能に問題のないことが確認された（出典：電力中央研究所報告「原子力発電所における動力変圧器の長期健全性評価研究」2006年6月）。

泊2号炉の動力変圧器（安全系）コイルのポリアミド紙平角銅線は、試験で用いた変圧器コイルの2重ガラス平角銅線に比べ熱劣化特性で優れていることから、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

コイルの絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、コイルの絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

コイルの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

3 パワーセンタ

[対象機器]

- ① パワーセンタ (安全系)

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. パワーセンタ（安全系）の技術評価	2
2.1 構造，材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	14

1. 技術評価対象機器

泊2号炉で使用されているパワーセンタの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 泊2号炉 パワーセンタの主な仕様

機器名称 (群数)	仕様	重要度*1	使用条件			内蔵遮断器		
			運転 状態*2	定格 使用 電圧 (V)	周囲 温度 (°C)	投入 方式	定格 電流 (A) (最大)	遮断 電流 (kA)
パワーセンタ (安全系) (2)	気中遮断器内蔵 低圧閉鎖形 母線定格電流 4,000A	MS-1	連続 [連続]	460	約35	ばね	4,000	90
						ばね	1,600	50

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：上段は断続的運転時，下段の [] は冷温停止状態時の運転状態を示す。

2. パワーセンタ（安全系）の技術評価

2.1 構造，材料及び使用条件

2.1.1 パワーセンタ（安全系）

(1) 構造

泊2号炉のパワーセンタ（安全系）は，定格使用電圧460V，定格電流4,000Aの低圧閉鎖形で，2群設置されている。

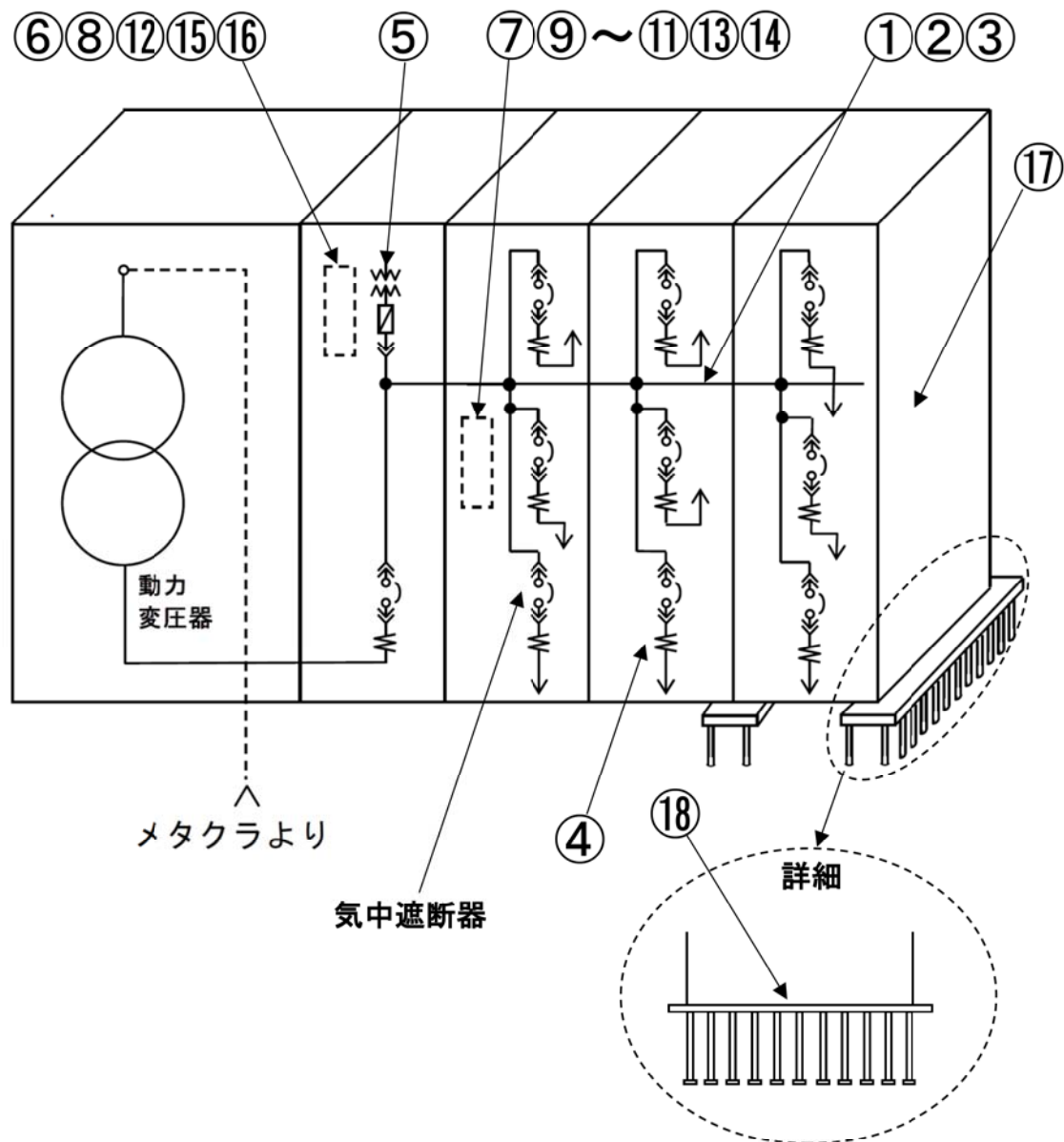
パワーセンタ（安全系）は，気中遮断器を内蔵しており，電源回路の保護，制御のために計器用変流器，計器用変圧器等を収納している。

遮断器の投入は投入ばねによって行い，開放は投入時に蓄勢された引外しばねによって行う。

泊2号炉のパワーセンタ（安全系）構成図を図2.1-1に，気中遮断器構造図を図2.1-2に，気中遮断器操作機構構造図を図2.1-3に示す。

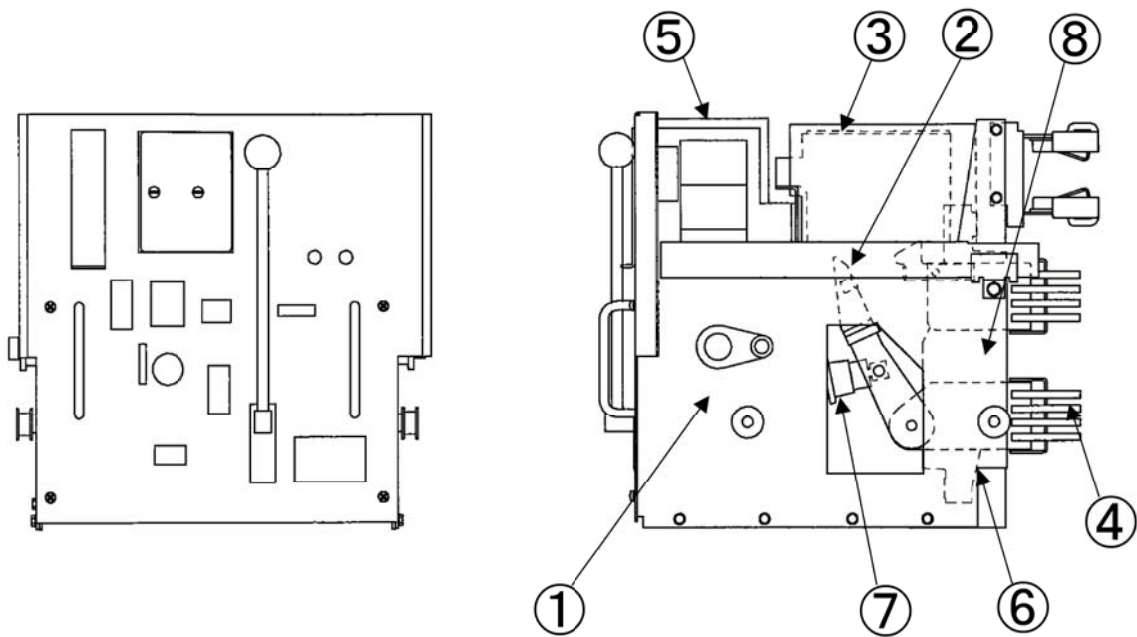
(2) 材料及び使用条件

泊2号炉のパワーセンタ（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



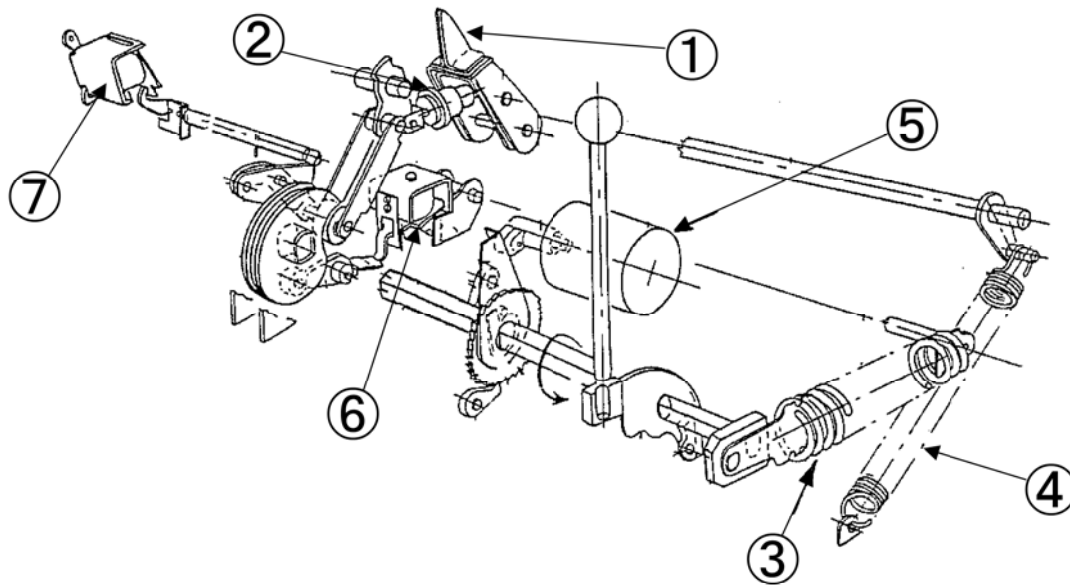
No.	部位	No.	部位
①	主回路導体	⑩	表示灯
②	支持碍子	⑪	ノーヒューズブレーカ
③	絶縁支持板	⑫	電磁接触器
④	計器用変流器	⑬	タイマ
⑤	計器用変圧器	⑭	ヒューズ
⑥	保護継電器	⑮	ロックアウトリレー
⑦	操作スイッチ	⑯	制御用変圧器
⑧	指示計	⑰	筐体
⑨	補助リレー	⑱	埋込金物

図2.1-1 泊2号炉 パワーセンタ (安全系) 構成図



No.	部位	No.	部位
①	操作機構	⑤	保護継電器（静止形）
②	接触子	⑥	計器用変流器
③	消弧室	⑦	絶縁リンク
④	1次ジャンクション	⑧	絶縁ベース

図2.1-2 泊2号炉 パワーセンタ（安全系）気中遮断器構造図



No.	部位	No.	部位
①	接触子	⑤	ばね蓄勢用モータ
②	絶縁リンク	⑥	投入コイル
③	投入ばね	⑦	引外しコイル
④	引外しばね		

図2.1-3 泊2号炉 パワーセンタ（安全系）気中遮断器操作機構構造図

表2.1-1 泊2号炉 パワーセンタ（安全系）主要部位の使用材料

	部位	材料
遮断器	操作機構	炭素鋼
	接触子	銀タングステン，銅
	消弧室	炭素鋼
	1次ジャンクション	銅
	保護継電器（静止形）	銅線，半導体，ポリエステル樹脂（B種絶縁）
	計器用変流器	銅線，エポキシ樹脂（B種絶縁）
	絶縁リンク	ジアリルフタレート樹脂
	絶縁ベース	ポリエステル樹脂
	ばね（投入・引外し）	ばね用オイルテンパー線，ピアノ線
	ばね蓄勢用モータ	銅線，ポリアミドイミド（H種絶縁）
	投入コイル	銅線，ポリビニルホルマール（A種絶縁）
	引外しコイル	銅線，ポリビニルホルマール（A種絶縁）
盤構成品	主回路導体	銅，アルミニウム合金
	支持碍子	エポキシ樹脂
	絶縁支持板	フェノール樹脂（B種絶縁）
	計器用変流器	銅線，エポキシ樹脂（A種絶縁）
	計器用変圧器	銅線，エポキシ樹脂（A種絶縁）
	保護継電器（静止形）	消耗品・定期取替品
	保護継電器（機械式）	銅線，ホルマール樹脂及びフェノール樹脂（A種絶縁），リレー，半導体
	操作スイッチ	消耗品・定期取替品
	指示計	消耗品・定期取替品
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	表示灯	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	電磁接触器	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	ヒューズ	消耗品・定期取替品
	ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品
	制御用変圧器	消耗品・定期取替品
支持組立品	筐体	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 泊2号炉 パワーセンタ（安全系）の使用条件

周囲温度	約35℃*1
短時間電流強度	42kA 1秒 90kA 1秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格使用電圧	460V

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

パワーセンタ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

パワーセンタ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

- (1) 遮断器の保護継電器（静止形）及び保護継電器（機械式）の絶縁低下
遮断器の保護継電器（静止形）及び保護継電器（機械式）の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。
- (2) ばね蓄勢用モータの絶縁低下
遮断器のばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。
- (3) 計器用変圧器の絶縁低下
計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 操作機構の固着

遮断器の操作機構は、長期使用に伴いグリスが固化し、動作特性の低下が想定される。

しかしながら、注油、各部の目視確認、動作試験を実施することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 遮断器の保護継電器（静止形）の特性変化

遮断器の保護継電器（静止形）は長期間の使用に伴い、入出力特性の変化やマイグレーションが想定される。

しかしながら、保護継電器（静止形）を構成している電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また、製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の特性試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 保護継電器（機械式）の特性変化

保護継電器（機械式）は、長期間の使用に伴い、回転軸及び軸受の機械的摩耗及び接点部分の電氣的摩耗、損傷等により動作特性の変化が想定される。

しかしながら、保護継電器（機械式）は、「電気学会 電気規格調査会標準規格 電力用保護継電器(JEC-2500-1987)」に定める10,000回の耐久試験を型式試験として実施し、機構及び特性に異常を生じないことを確認しており、また、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間での急激な特性変化が生じる可能性は小さいと考える。

また、回転軸受部・摺動部に油やグリスを使用していないことから、グリス等の固着により誘導円板の動作特性が変化することは考え難い。

更に、機器点検時の調整試験及び動作試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 接触子の摩耗

遮断器の接触子は、遮断器の開閉動作に伴う電流開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 消弧室の汚損

遮断器の消弧室は、遮断器の電流遮断動作に伴う消弧室でのアーク消弧により汚損した場合、消弧性能の低下が想定される。

しかしながら、機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 1次ジャンクションの摩耗

遮断器の1次ジャンクションは、遮断器の盤からの出し入れに伴う摩耗が想定される。

しかしながら、機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 絶縁リンク、絶縁ベース、支持碍子及び絶縁支持板の絶縁低下

遮断器の絶縁リンク及び絶縁ベース、支持碍子及び絶縁支持板は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、絶縁リンク等は屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度100℃に対して、絶縁リンクの耐熱温度は180℃、絶縁ベースの耐熱温度は200℃、支持碍子の耐熱温度は120℃、絶縁支持板の耐熱温度は130℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(10) ばね（遮断器）の変形（応力緩和）

遮断器のばねは投入状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 投入コイル及び引外しコイルの絶縁低下

遮断器の投入コイル及び引外しコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、投入コイル及び引外しコイルは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、投入コイル及び引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と小さいことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度（約60℃）に比べて、十分余裕のある絶縁種（A種：許容最高温度105℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(12) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体は銅及びアルミニウム合金であり腐食が想定される。

しかしながら、エポキシ樹脂により腐食を防止しており、機器点検時の目視確認により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(13) 計器用変流器の絶縁低下

一次コイルと二次コイルがモールドされている形式の計器用変流器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、一次コイルのない貫通型計器用変流器であり、二次コイルにかかる電圧は低く、また、通電電流による熱的影響も小さい。

また、空調された屋内に設置されており、コイル全体がモールドされていることから塵埃による影響もごく僅かであり、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(14) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

盤構成品の保護継電器（静止形）、操作スイッチ、指示計、補助リレー、表示灯、ノーヒューズブレーカ、電磁接触器、タイマ、ロックアウトリレー及び制御用変圧器は点検の結果に基づき取替える消耗品であり、また、ヒューズについては定期取替品であるため、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/2) 泊2号炉 パワーセンタ (安全系) に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	絶縁 低下	導通 不良	特性 変化		
遮断機能の 維持 通電・絶縁機 能の維持	操作機構		炭素鋼								△*1	*1：固着 *2：汚損 *3：変形 (応力緩 和)
	接触子		銀タングステン, 銅	△								
	消弧室		炭素鋼								△*2	
	1次ジャンクション		銅	△								
	保護継電器(静止形)		銅線, 半導体, ポリエステル樹脂					○			△	
	計器用変流器		銅線, エポキシ樹脂					▲				
	絶縁リンク		ジアリルフタレート樹 脂					△				
	絶縁ベース		ポリエステル樹脂					△				
	ばね(投入・引外し)		ばね用オイルテンパー 線, ピアノ線								△*3	
	ばね蓄勢用モータ		銅線, ポリアミドイミド					○				
	投入コイル		銅線, ポリビニルホル マール					△				
	引外しコイル		銅線, ポリビニルホル マール					△				
	主回路導体		銅, アルミニウム合金		△							
	支持碍子		エポキシ樹脂					△				
絶縁支持板		フェノール樹脂					△					

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象)

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象以外)

表2.2-1 (2/2) 泊2号炉 パワーセンタ (安全系) に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の保護・監視機能の維持	計器用変流器		銅線, エポキシ樹脂					▲				*4: 大気接触部の腐食 *5: コンクリート埋設部の腐食
	計器用変圧器		銅線, エポキシ樹脂					○				
	保護継電器 (静止形)	◎	—									
	保護継電器 (機械式)		銅線, ホルマール樹脂, フェノール樹脂, リレー, 半導体					○		△		
	操作スイッチ	◎	—									
	指示計	◎	—									
	補助リレー	◎	—									
	表示灯	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎	—									
	電磁接触器	◎	—									
	タイマ	◎	—									
	ヒューズ	◎	—									
	ロックアウトリレー	◎	—									
	制御用変圧器	◎	—									
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*4} ▲ ^{*5}							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象)

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象以外)

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 遮断器の保護継電器（静止形）及び保護継電器（機械式）の絶縁低下

a. 事象の説明

保護継電器内部に使用している入力トランスの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

保護継電器は、筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

保護継電器の絶縁低下については、同種保護継電器のサンプリング調査結果より評価を実施した。

図2.3-1は、保護継電器の絶縁破壊電圧と使用年数の関係を示している。この評価から、入力トランスの絶縁破壊電圧の95%信頼区間下限が判定基準に達するまでの期間は約40年であり、絶縁低下の可能性は否定できない。

なお、判定基準は、保護継電器の入力トランス絶縁仕様の耐電圧であるAC2,000V「電気学会 電気規格調査会標準規格 電力用保護継電器(JEC-2500-1987)」としている。

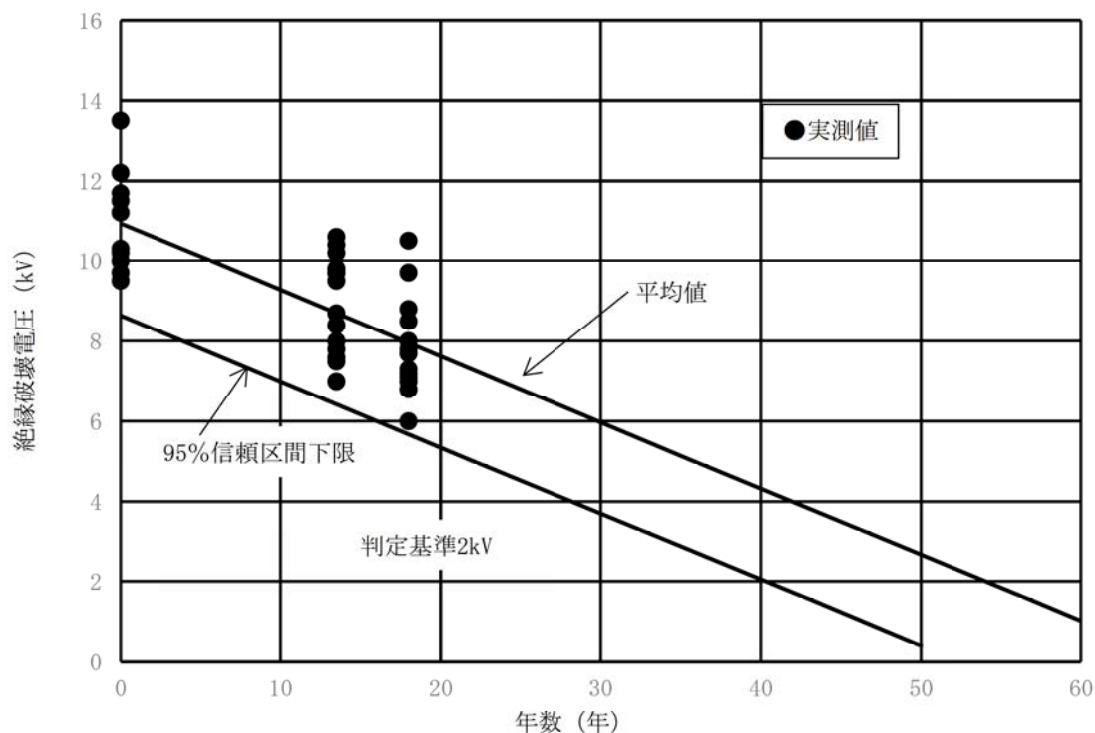


図2.3-1 保護継電器の絶縁破壊電圧と使用年数の関係

[出典：メーカーデータ]

② 現状保全

保護継電器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることを確認している。

なお、保護継電器は予防保全のため順次更新する計画としている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

保護継電器の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

2.3.2 ばね蓄勢用モータの絶縁低下

a. 事象の説明

ばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下が生じる可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

ばね蓄勢用モータは密閉構造のため、塵埃及び湿分が付着しにくい環境にある。

また、モータは連続運転ではなく遮断器投入後に作動するもので、作動時間も数秒と短いことから、モータの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（H種：許容最高温度180℃）を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

② 現状保全

ばね蓄勢用モータの絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ばね蓄勢用モータの絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ばね蓄勢用モータの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

2.3.3 計器用変圧器の絶縁低下

a. 事象の説明

計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

パワーセンタの計器用変圧器のサンプリングデータ等はないが、メタクラの計器用変流器及び計器用変圧器の研究結果（詳細は「電気設備の技術評価書 メタクラ計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下」参照）より絶縁性能に問題のないことを確認している。

したがって、パワーセンタの計器用変圧器については、短期間での急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

計器用変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変圧器の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

計器用変圧器の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

4 コントロールセンタ

[対象機器]

- ① 原子炉コントロールセンタ (安全系)
- ② ディーゼル発電機コントロールセンタ

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
3. 代表機器以外への展開	11
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	11

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊2号炉で使用されているコントロールセンタの主な仕様を表1-1に示す。

これらのコントロールセンタを，電圧区分及び設置場所の観点からグループ化し，以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すコントロールセンタを電圧区分及び設置場所で分類すると1つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

このグループのコントロールセンタの中で，定格電流の大きい原子炉コントロールセンタ（安全系）を代表機器とする。

表1-1 泊2号炉 コントロールセンタの主な仕様

分離基準		機器名称 (群数)	仕様	選定基準			代表機器の選定		
電圧 区分	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
					運転 状態*2	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (℃)		
低圧	屋内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (4)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	MS-1	連続 [連続]	440	約35	◎	定格電流
		ディーゼル発電機コントロールセンタ (2)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-1	連続 [連続]	440	約40		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：上段は断続的運転時，下段の [] は冷温停止状態時の運転状態を示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のコントロールセンタについて技術評価を実施する。

① 原子炉コントロールセンタ（安全系）

2.1 構造，材料及び使用条件

2.1.1 原子炉コントロールセンタ（安全系）

(1) 構造

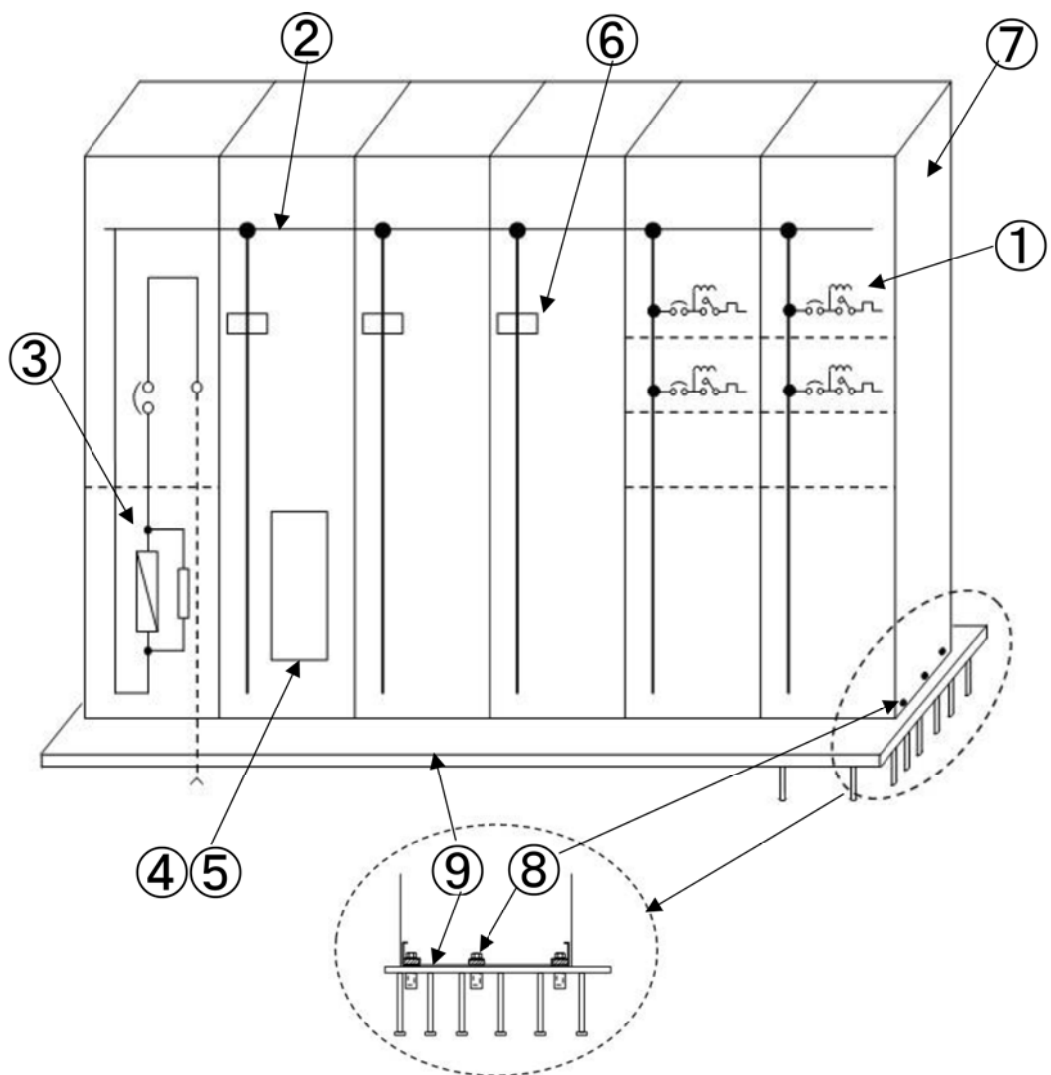
泊2号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）は、定格使用電圧440V，定格電流800Aの低圧閉鎖形であり，4群設置されている。

原子炉コントロールセンタ（安全系）は，電源を開閉する装置（ユニット），CLN限流装置等で構成されている。

泊2号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）構成図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部位
①	開閉装置
②	主回路導体
③	CLN限流装置
④	表示灯
⑤	タイマ
⑥	母線支え
⑦	筐体
⑧	取付ボルト
⑨	埋込金物

図2.1-1 泊2号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）構成図

表2.1-1 泊2号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
盤内構成品	開閉装置（ノーヒューズブレーカ、サーマルリレー、電磁接触器、ヒューズ、補助リレー、制御用変圧器）	消耗品・定期取替品
	主回路導体	銅（錫メッキ）
	CLN限流装置	金属ナトリウム、クローム銅棒、ステンレス鋼、磁器
	表示灯	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	母線支え	ガラスポリエステル
支持組立品	筐体	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 泊2号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）の使用条件

周囲温度	約35℃*1
短時間電流強度	20kA 1秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格使用電圧	440V

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

原子炉コントロールセンタ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

原子炉コントロールセンタ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造，材料，使用条件及び現在までの運転経験を考慮し，表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、錫メッキにより腐食を防止しており、機器点検時の目視確認により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) CLN限流装置の絶縁低下

CLN限流装置に使用している絶縁物は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、CLN限流装置は筐体に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

また、機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 母線支えの絶縁低下

主回路導体を支持する母線支えは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、母線支えは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が附着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度100℃に対して、母線支えの耐熱温度は155℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視によりメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(7) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

表示灯、タイマ及び開閉装置（ノーヒューズブレーカ、サーマルリレー、電磁接触器、補助リレー及び制御用変圧器）は点検の結果に基づき取替える消耗品であり、また、開閉装置（ヒューズ）については定期取替品であるため、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 泊2号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）の想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
遮断機能の維持 通電・絶縁機能の維持	開閉装置（ノーヒューズブレーカ，サーマルリレー，電磁接触器，ヒューズ，補助リレー，制御用変圧器）	◎	—									*1:大気接触部の腐食 *2:コンクリート埋設部の腐食
	主回路導体		銅（錫メッキ）		△							
機器の保護・監視機能の維持	CLN限流装置		金属ナトリウム，クローム銅棒，ステンレス鋼，磁器					△				
	表示灯	◎	—									
	タイマ	◎	—									
機器の支持	母線支え		ガラスポリエステル					△				
	筐体		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

① ディーゼル発電機コントロールセンタ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.1.1 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、錫メッキにより腐食を防止しており、機器点検時の目視確認により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 母線支えの絶縁低下

主回路導体を支持する母線支えは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、母線支えは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度105℃に対して、母線支えの耐熱温度は155℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の絶縁抵抗測定により機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており，メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視によりメッキ面の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.5 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.3 2)に該当する事象のうち，日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.1.6 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが，コンクリートが中性化に至り，埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

泊発電所 2 号炉

タービン設備の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

北海道電力株式会社

泊発電所 2 号炉のタービン設備のうち、評価対象機器である重要度分類指針におけるクラス 1、2 及び高温・高圧の環境下にあるクラス 3 の機器であって、冷温停止状態維持に必要な機器はない。

泊発電所 2 号炉

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

北海道電力株式会社

本技術評価書は、泊発電所2号炉（以下、「泊2号炉」という。）における主要なコンクリート構造物及び鉄骨構造物の高経年化に係わる技術評価についてまとめたものである。

泊2号炉のコンクリート構造物及び鉄骨構造物のうち、評価対象構造物である重要度分類指針におけるクラス1, 2に該当する構造物, 又はクラス1, 2及び高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器であって、冷温停止状態維持に必要な機器を支持する構造物を対象構造物として選定した。

コンクリート構造物及び鉄骨構造物に対して、安全上及び運転継続上要求される機能としては、支持機能、放射線の遮へい機能（一部のコンクリート構造物が対象）があげられる。

本評価書においては、これらの機能に影響する経年劣化事象を抽出し、その事象に影響を及ぼす各経年劣化要因に対して、代表構造物のうち、使用環境、使用条件、重要度等により評価対象とする構造物を選定し、技術評価を実施している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考える。

なお、冷温停止状態維持を前提とした本評価書では、「特別な保全計画」を含め、現状保全では「定期的」と記載するとともに、その上で点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

また、本評価書では経年劣化事象の評価のうち、劣化の観点から、冷温停止状態維持の前提に比べ、断続的運転の前提の方が条件が厳しいものは、断続的運転の条件による評価としている。

なお、断続的運転を前提とした場合には発生・進展が想定されるが、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されない経年劣化事象については、耐震安全性評価を実施するために、運転開始後30年時点までの劣化を考慮した技術評価の結果が必要であることから、◆印を付けて高経年化対策上着目すべき経年劣化事象又は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と区別した上で、技術評価（本評価書においては、保守的に運転開始後60年時点までの断続的運転を行うことを前提としている）を行った。

コンクリート構造物及び鉄骨構造物

目次

1. 技術評価対象構造物及び代表構造物	1
1.1 対象構造物のグループ化	2
1.2 代表構造物の選定	2
2. 代表構造物の技術評価	7
2.1 構造, 材料, 使用条件	7
2.2 経年劣化事象の抽出	12
2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の評価	18
3. 代表構造物以外への展開	34

1. 技術評価対象構造物及び代表構造物

泊2号炉のコンクリート構造物及び鉄骨構造物のうち、重要度分類指針におけるクラス1, 2に該当する構造物, 又はクラス1, 2及び高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器であって、冷温停止状態維持に必要な機器を支持する構造物を対象構造物とする。

表1-1に対象構造物の選定を示す。対象構造物は以下のとおりとなる。

- ① 外部しゃへい建屋
- ② 内部コンクリート
- ③ 原子炉格納施設の基礎
- ④ 周辺補機棟及び燃料取扱棟
- ⑤ 原子炉補助建屋
- ⑥ 取水構造物
- ⑦ 燃料油貯油槽タンク室
- ⑧ 燃料取替用水タンク建屋

これらの対象構造物をグループ化し、代表構造物を選定した。

1.1 対象構造物のグループ化

対象構造物は、材料特性によりコンクリート構造物と鉄骨構造物の2つのグループに分類される。

1.2 代表構造物の選定

表1-2に示すとおり、使用条件等により、以下を代表構造物として選定した。

(1) コンクリート構造物

- ① 外部しゃへい建屋
- ② 内部コンクリート
- ③ 原子炉格納施設の基礎
- ④ 周辺補機棟及び燃料取扱棟
- ⑤ 原子炉補助建屋
- ⑥ 取水構造物

(2) 鉄骨構造物

- ① 内部コンクリート（鉄骨部）
- ② 周辺補機棟及び燃料取扱棟（鉄骨部）
- ③ 原子炉補助建屋（鉄骨部）
- ④ 燃料取替用水タンク建屋（鉄骨部）

表 1-1 対象構造物の選定 (1/2)

「重要度指針」等に定める要求機能	分類等	主要設備	対象構造物
原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	PS-1	原子炉容器 蒸気発生器 1次冷却材ポンプ 加圧器	内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート
過剰反応度の印加防止機能	PS-1	制御棒駆動装置圧力ハウジング	内部コンクリート
炉心形状の維持機能	PS-1	炉心そう	内部コンクリート
原子炉の緊急停止機能	MS-1	—*1	—
未臨界維持機能	MS-1	制御棒 化学体積制御設備の内ほう酸注入系	内部コンクリート 内部コンクリート, 周辺補機棟, 原子炉補助建屋
原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	MS-1	—*1	—
原子炉停止後の除熱機能	MS-1	余熱除去系	内部コンクリート, 周辺補機棟, 原子炉補助建屋
炉心冷却機能	MS-1	—*1	—
放射性物質の閉じ込め機能 放射線の遮へい及び放出低減機能	MS-1	原子炉格納容器 アニュラス空気浄化設備 アニュラス 遮へい設備 (外部遮へい, 内部コンクリート) 非常用排気筒	原子炉格納施設の基礎 周辺補機棟 原子炉格納施設の基礎, 外部しゃへい建屋 外部しゃへい建屋, 内部コンクリート 外部しゃへい建屋, 周辺補機棟
工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	MS-1	安全保護系	内部コンクリート, 周辺補機棟, 原子炉補助建屋

*1: 冷温停止状態が維持されることを前提とした場合に必要でない機能。

表 1-1 対象構造物の選定 (2/2)

「重要度指針」等に定める要求機能	分類等	主要設備	対象構造物
安全上特に重要な関連機能	MS-1	非常用所内電源系 中央制御室及び中央制御室遮へい 中央制御室換気空調系 原子炉補機冷却水系 原子炉補機冷却海水系 直流電源系 計測制御電源系 制御用圧縮空気設備	周辺補機棟, 原子炉補助建屋, 燃料油貯油槽タンク室 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 周辺補機棟, 原子炉補助建屋 周辺補機棟, 原子炉補助建屋, 取水構造物 内部コンクリート, 周辺補機棟, 原子炉補助建屋 内部コンクリート, 周辺補機棟, 原子炉補助建屋 内部コンクリート, 周辺補機棟, 原子炉補助建屋
原子炉冷却材を内蔵する機能	PS-2	化学体積制御系	内部コンクリート, 原子炉補助建屋, 周辺補機棟
原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって, 放射性物質を貯蔵する機能	PS-2	気体廃棄物処理系 使用済燃料ピット (使用済燃料ラック含む) 新燃料貯蔵庫	原子炉補助建屋 燃料取扱棟 燃料取扱棟
燃料を安全に取り扱う機能	PS-2	燃料取替クレーン 燃料移送装置 使用済燃料ピットクレーン	内部コンクリート 内部コンクリート, 燃料取扱棟 燃料取扱棟
安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	PS-2	—*1	—
燃料プール水の補給機能	MS-2	燃料取替用水タンク 燃料取替用水ポンプ	燃料取替用水タンク建屋 原子炉補助建屋
放射性物質放出の防止機能	MS-2	気体廃棄物処理設備の隔離弁	原子炉補助建屋
事故時のプラント状態の把握機能	MS-2	—*1	—
異常状態の緩和機能	MS-2	—*1	—
制御室外からの安全停止機能	MS-2	—*1	—
重要度クラス3のうち, 最高使用温度が95℃を超え, 又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の機器に要求される機能	高*2	気体廃棄物処理系 液体廃棄物処理系 補助蒸気設備	原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 周辺補機棟, 原子炉補助建屋

*1: 冷温停止状態が維持されることを前提とした場合に必要でない機能。

*2: 最高使用温度が95℃を超え, 又は最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表 1-2 代表構造物の選定 (1/2)

対象構造物 (コンクリート構造物)	重要度分類等	使用条件等								選定	選定理由
		運転開始後経過年数	高温部の有無	放射線の有無	振動の有無	設置環境		供給塩化物量			
						屋内	屋外				
① 外部しゃへい建屋	クラス1 設備支持	28	◇	◇	—	一部 仕上げなし	仕上げ 有り	◇	◎	屋内で仕上げなし	
② 内部コンクリート	クラス1 設備支持	28	○ (1次しゃへい壁)	○ (1次しゃへい壁)	—	一部 仕上げなし	/	/	◎	高温部, 放射線の影響, 屋内で仕上げなし	
③ 原子炉格納施設の基礎	クラス1 設備支持	28	—	◇	—	仕上げ有り	埋設*2	◇	◎	代表構造物を支持する構造物	
④ 周辺補機棟及び燃料取扱棟	クラス1 設備支持	28	—	◇	○ (ディーゼル発電機基礎)	一部 仕上げなし	仕上げ 有り	◇	◎	振動の影響, 屋内で仕上げなし	
⑤ 原子炉補助建屋	クラス1 設備支持	28	—	◇	—	一部 仕上げなし	仕上げ 有り	◇	◎	屋内で仕上げなし	
⑥ 取水構造物	クラス1 設備支持	28	—	—	—	一部 仕上げなし	仕上げ なし	○ (海水と接触)	◎	屋外で仕上げなし, 供給塩化物量の影響	
⑦ 燃料油貯油槽タンク室	クラス1 設備支持	28	—	—	—	/	埋設*2	◇			
⑧ 燃料取替用水タンク建屋	クラス1 設備支持	28	—	◇	—	一部 仕上げなし*1	仕上げ 有り	◇			

*1: ほかの屋内で仕上げがない構造物で代表させる。

*2: 環境条件の区分として, 土中は一般の環境として区分されることから, ほかの屋外で仕上げがない構造物で代表させる。

【凡例】

○: 影響大

◇: 影響小

—: 影響極小, 又はなし

表 1-2 代表構造物の選定 (2/2)

対象構造物 (鉄骨構造物)		重要度分類等	使用条件等			選定	選定理由
			運転開始後経過 年数	設置環境			
				屋内	屋外		
①	内部コンクリート (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り		◎	設置環境
②	周辺補機棟及び燃料取扱棟 (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り		◎	設置環境
③	原子炉補助建屋 (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り		◎	設置環境
④	燃料取替用水タンク建屋 (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28	仕上げ有り		◎	設置環境

2. 代表構造物の技術評価

本章では、「1.2 代表構造物の選定」で選定した代表構造物について技術評価を実施する。

2.1 構造，材料，使用条件

コンクリートは，セメントに骨材（粗骨材，細骨材），水及び混和材料を混合したものである。鉄筋コンクリート構造は，必要な強度を確保するために，圧縮力には強いが引張力に弱いコンクリートを，引張力に強い鉄筋で補強した構造である。また，鉄筋コンクリート構造は，鉄筋を強アルカリ性であるコンクリートで包むことにより，鉄筋の腐食を防止することができる。

コンクリートの設計基準強度は，外部しゃへい建屋，内部コンクリート，原子炉格納施設の基礎，周辺補機棟及び燃料取扱棟並びに取水構造物が 23.5N/mm^2 (240kgf/cm^2)，原子炉補助建屋が 22.1N/mm^2 (225kgf/cm^2) である。

鉄骨構造物は，構造用鋼材を溶接又はボルトにて接合した構造物であり，柱脚部はコンクリート基礎にアンカボルトで定着されるか又は埋め込まれている。鉄骨部は，施工時に適切な防錆塗装が施されている。

泊2号炉のプラント配置図と代表構造物の概要をそれぞれ図 2.1-1 及び図 2.1-2 に示す。

泊2号炉のコンクリート構造物及び鉄骨構造物の主な使用材料を表 2.1-1 に示す。また，使用条件については，表 1-2 に示したとおりである。

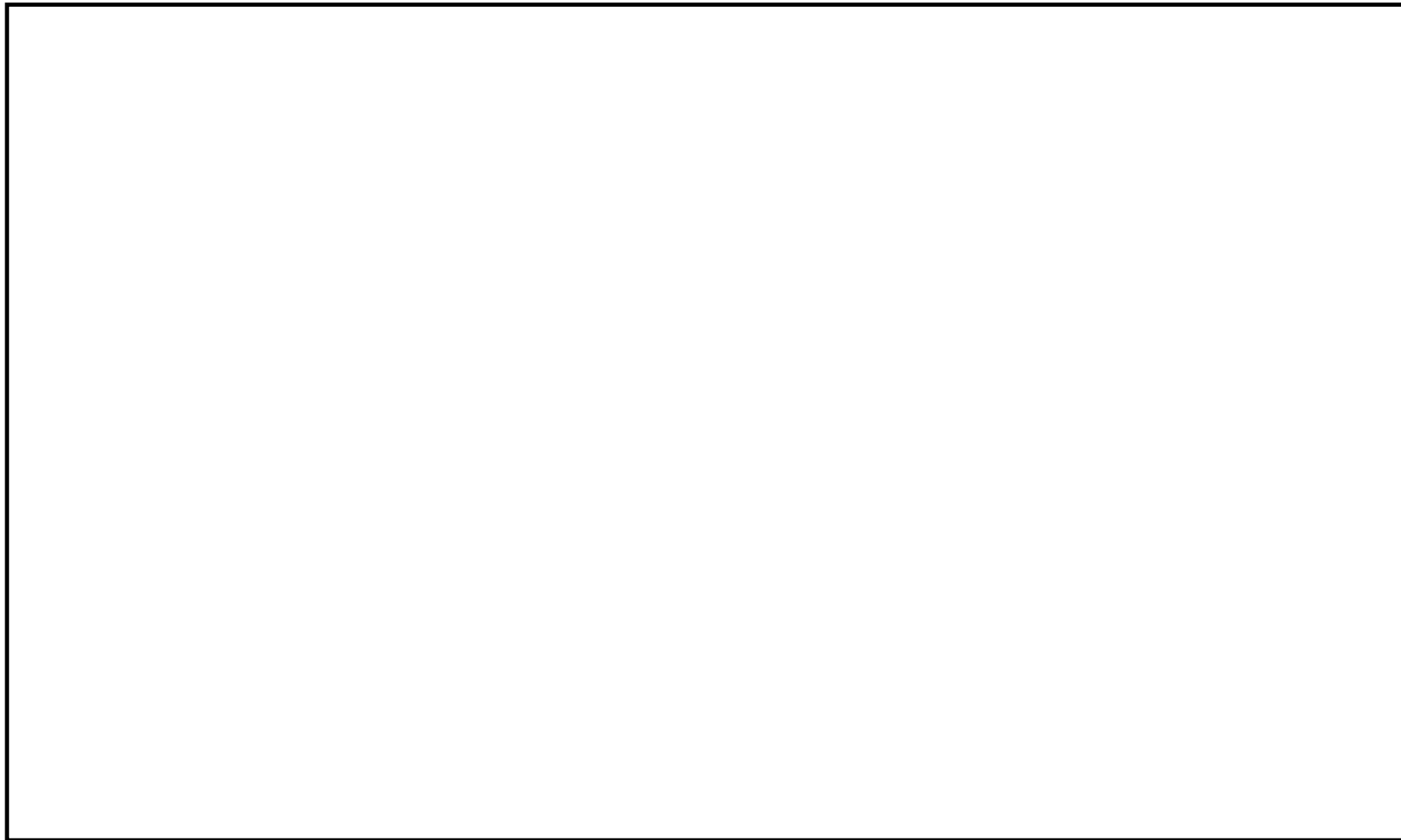


図 2.1-1 泊 2 号炉 プラント配置図

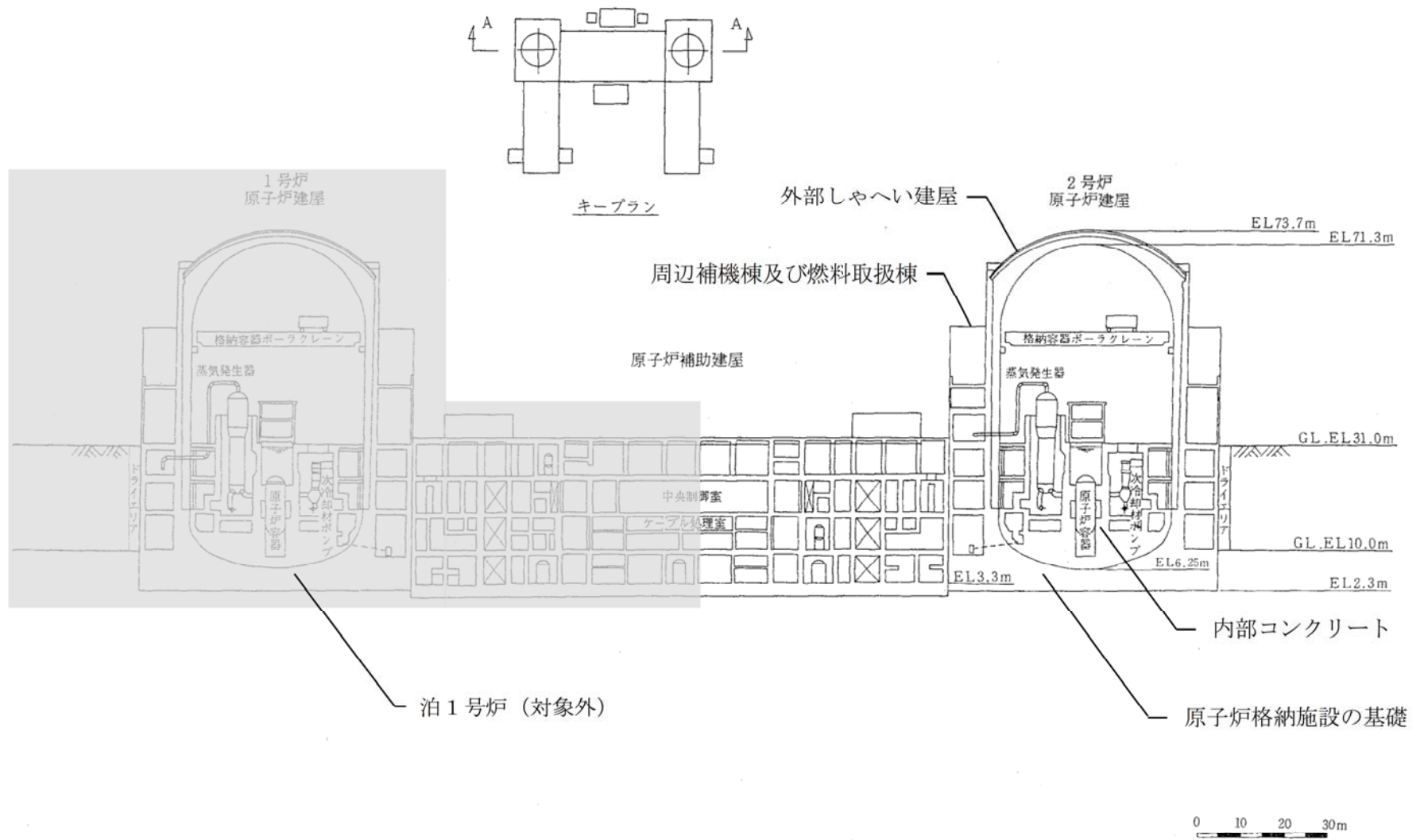


図 2.1-2 泊2号炉 代表構造物の概要(1/2)

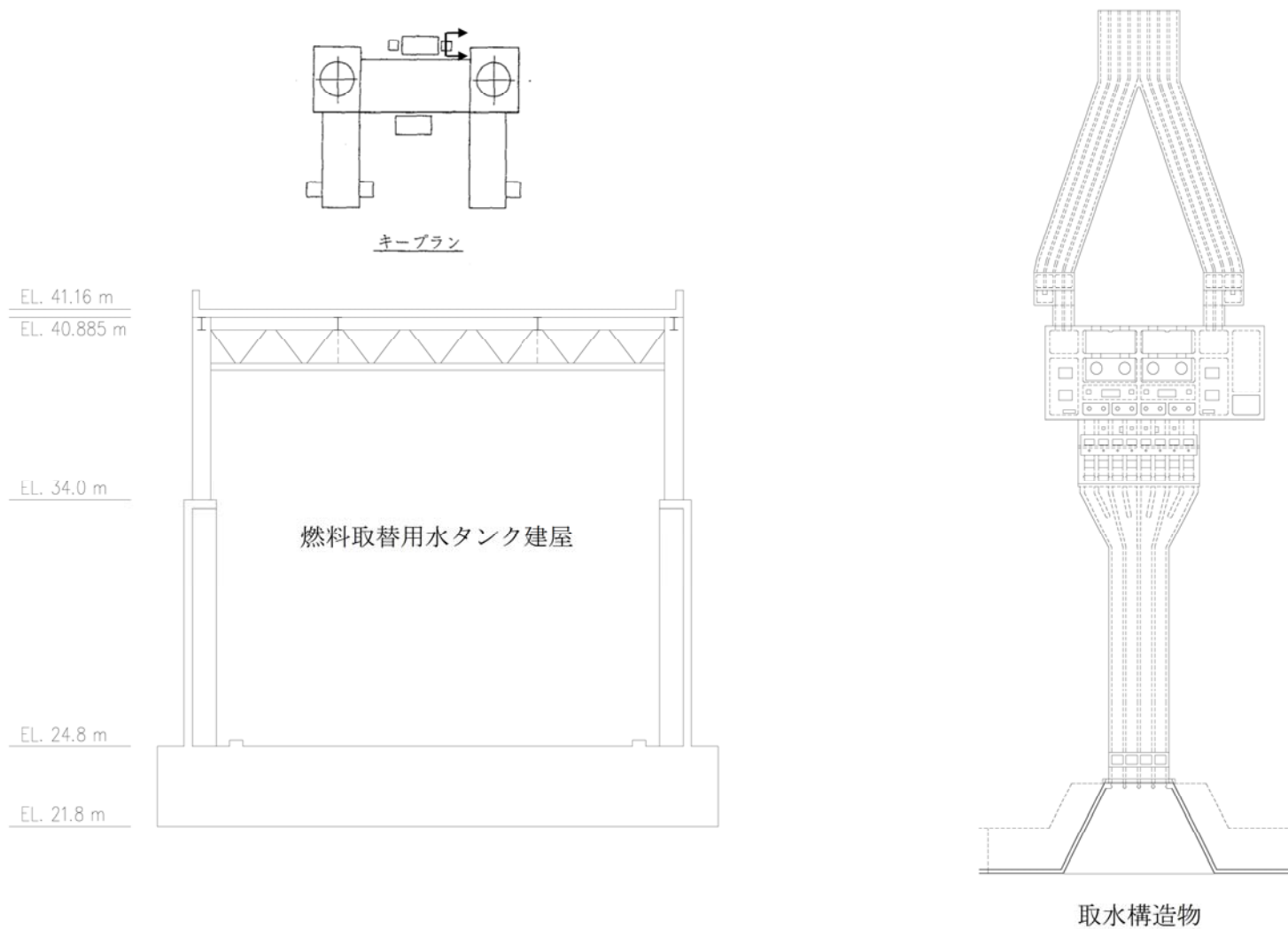


図 2.1-2 泊 2 号炉 代表構造物の概要 (2/2)

表 2.1-1 泊 2 号炉 コンクリート構造物及び鉄骨構造物の主な使用材料

		材料	
コンクリート 構造物	骨材	粗骨材	砕石（京極産）
		細骨材	陸砂（幌延産） 陸砂（岩内産）
	セメント	中庸熟ポルトランドセメント	
	混和材料	混和剤（AE 減水剤，流動化剤）	
	鉄筋	異形棒鋼（SD35）	
	塗装材	（外部）アクリルゴム系塗膜防水 （内部）エポキシ樹脂塗料	
鉄骨 構造物	鉄骨	炭素鋼（SS41，SM50A）	
	塗装材	エポキシ樹脂塗料 フタル酸系塗料	

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

評価対象のコンクリート構造物及び鉄骨構造物に要求される機能は、支持機能と、一部のコンクリート構造物における放射線の遮へい機能である。したがって、次の3つの項目が必要であり、高経年化対策上も重要と判断される。

- ① コンクリート強度の維持
- ② コンクリート遮へい能力の維持
- ③ 鉄骨強度の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象

「2.2.1 機能達成に必要な項目」であげたそれぞれの機能に影響を及ぼすことが否定できない経年劣化事象として、コンクリートの強度低下、コンクリートの遮へい能力低下及び鉄骨の強度低下が考えられる。

設計上及び一般構造物での事例等から各事象に影響を及ぼす要因を抽出し、更に、抽出した各要因に対して、代表構造物の使用環境、使用条件、重要度等から、評価対象とする構造物を選定した。以上の結果を表2.2-1に示す。

想定される経年劣化事象と、各事象に影響を及ぼす要因のうち高経年化対策上着目すべきもの(表2.2-1で○となっているもの)を以下に示す。なお、◆は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象には該当しないが、耐震安全性評価を実施するために本項に記載する。

また、評価対象とする構造物を [] で示す。

(1) コンクリートの強度低下

a. 熱による強度低下(◆) [内部コンクリート(1次しゃへい壁)]

コンクリートが熱を受けると、温度条件によってはコンクリート中の水分の逸散に伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大等により強度が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、運転時に最も高温状態となる内部コンクリート(1次しゃへい壁)を評価対象とした。

b. 放射線照射による強度低下（◆） [内部コンクリート（1次しゃへい壁）]

コンクリートは、中性子照射やガンマ線照射に起因する内部発熱によるコンクリート中の水分逸散等により強度が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、中性子照射量及びガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリート（1次しゃへい壁）を評価対象とした。

c. 中性化による強度低下 [外部しゃへい建屋，取水構造物]

コンクリートは空気中の二酸化炭素の作用を受けると、徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。

中性化がコンクリートの内部に進行し、アルカリ性が失われると鉄筋周囲に生成されていた不動態被膜も失われ、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。更に、鉄筋の腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

中性化の進行度合いに影響を及ぼす要因としては、塗装等のコンクリート表面仕上げの有無、二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度があげられる。

仕上げの有無については、仕上げ材が二酸化炭素侵入の遮断又は抵抗体となることから仕上げが施されていない部位の方が影響度が大きい。本評価対象のうち屋内については、中央制御室等、社員が常駐する部位には運転開始時点より仕上げが施されている。また、屋外については運転開始以降に外部しゃへい建屋等に塗装を施している。

二酸化炭素については、高濃度である方が影響度が大きい。

温度については、高温であるほど中性化に及ぼす影響度が大きくなる傾向があるとされている。また、相対湿度については、一般に、温度と相対湿度の関係は、温度が上がれば相対湿度は下がり、温度が下がれば相対湿度は上がる。2016年～2017年の泊2号炉における二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度の測定結果等から、供用期間中の二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度の平均値を推定した結果、二酸化炭素濃度が約480ppm、温度が約26℃、相対湿度が約29%となる外部しゃへい建屋の屋内環境が、中性化に及ぼす影響度が比較的大きいと考えられる。

以上より、屋内で仕上げが施されていない部位があり、他と比べて環境条件が中性化に及ぼす影響度が比較的大きいと考えられる外部しゃへい建屋を評価対象として選定した。更に、屋外の代表として仕上げが施されていない部位がある取水構造物についても評価対象とした。

d. 塩分浸透による強度低下 [取水構造物]

コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋はコンクリート中の水分及び酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、海水とその飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下であり、塗装等の仕上げが施されていない部位がある取水構造物を評価対象とした。

e. 機械振動による強度低下 [周辺補機棟及び燃料取扱棟（ディーゼル発電機基礎）]

機械振動により、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けると、ひび割れの発生、ひいては損傷に至る可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、比較的大きな振動を受ける部位として、周辺補機棟及び燃料取扱棟（ディーゼル発電機基礎）を評価対象とした。

(2) コンクリートの遮へい能力低下

a. 熱による遮へい能力低下 (◆) [内部コンクリート（1次しゃへい壁）]

コンクリートは、周辺環境からの伝達熱及び放射線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮へい能力が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、運転時最高温度となる内部コンクリート（1次しゃへい壁）を評価対象とした。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) コンクリートの強度低下

a. アルカリ骨材反応による強度低下 [共通]

アルカリ骨材反応は、コンクリート中に存在するアルカリ溶液と、骨材中に含まれる反応性のシリカ鉱物の化学反応である。このとき生成されたアルカリ・シリカゲルが周囲の水を吸収し膨張するため、コンクリート表面にひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

使用している骨材（粗骨材、細骨材）については、1984～1990年にモルタルバー法（JASS5N T-201, JIS A 5308 附属書 8）による反応性試験を実施し、反応性骨材ではないことを確認している。

なお、定期的に目視点検を実施しているが、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない。

以上から、コンクリートのアルカリ骨材反応による強度低下については、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

b. 凍結融解による強度低下 [共通]

コンクリート中の水分が凍結し、それが気温の上昇や日射を受けること等により融解する凍結融解を繰り返すことでコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

（社）日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」（2018）に示される凍害危険度の分布図によると泊2号炉の周辺地域の凍害の予想程度は「軽微」である。また、使用しているコンクリートについ

ては、凍結融解作用に対する抵抗性を確保するために有効な空気量を満足している。

なお、定期的に見視点検を実施しているが、凍結融解に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない。

以上から、凍結融解による強度低下は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

- (2) 鉄骨の強度低下（腐食）〔内部コンクリート（鉄骨部），周辺補機棟及び燃料取扱棟（鉄骨部），原子炉補助建屋（鉄骨部），燃料取替用水タンク建屋（鉄骨部）〕

鉄は一般に大気中の酸素，水分と化学反応を起こして腐食する。また，海塩粒子等により，腐食が促進される。腐食が進行すると鉄骨の断面欠損に至り，鉄骨の強度低下につながる可能性がある。

しかしながら，定期的に見視確認を実施しており，強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食は認められていない。また，鉄骨の強度に支障をきたす可能性があるような鋼材の腐食に影響する塗装の劣化等が認められた場合には，その部分の塗装の塗替え等を行うこととしている。

以上から，今後も現状保全を継続することで，機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

前述の2)に該当する事象のうち，日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

- (3) 鉄骨の強度低下（風等による疲労）〔内部コンクリート（鉄骨部），周辺補機棟及び燃料取扱棟（鉄骨部），原子炉補助建屋（鉄骨部），燃料取替用水タンク建屋（鉄骨部）〕

繰返し荷重が継続的に鉄骨構造物にかかることにより，疲労による損傷が蓄積され，鉄骨の強度低下につながる可能性がある。

しかしながら，鉄骨構造物では疲労破壊が生じるような風等による繰返し荷重を継続的に受ける構造部材はない。

以上から，風等による疲労に起因する強度低下は高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

コンクリート構造物及び鉄骨構造物においては，消耗品及び定期取替品はない。

表 2.2-1 泊 2 号炉 コンクリート構造物及び鉄骨構造物に想定される経年劣化事象と評価対象とする構造物

構造種別		コンクリート構造物							鉄骨構造物		
経年劣化事象		強度低下							遮へい能力低下	強度低下	
要因		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	機械振動	アルカリ骨材反応	凍結融解	熱	腐食	風等による疲労
代表構造物	外部しゃへい建屋			○			△	△			
	内部コンクリート	1次しゃへい壁*1 ○◆	1次しゃへい壁*1 ○◆				△	△	1次しゃへい壁*1 ○◆	鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	原子炉格納施設の基礎						△	△			
	周辺補機棟及び燃料取扱棟					ディーゼル発電機基礎*1 ○	△	△		鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	原子炉補助建屋						△	△		鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	取水構造物			○	○		△	△			
	燃料取替用水タンク建屋（鉄骨部）									鉄骨部 △	鉄骨部 ▲

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表中の○に対応する代表構造物：評価対象とする構造物）

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

◆：冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には発生・進展が想定されないが、耐震安全性評価のために評価する

*1：評価対象部位

2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の評価

2.3.1 コンクリートの強度低下

(1) 健全性評価

以下に、「2.2 経年劣化事象の抽出」で示した、コンクリート構造物の強度低下をもたらす可能性のある要因ごとに、長期使用時の健全性評価を行う。

a. 熱による強度低下（◆）[内部コンクリート（1次しゃへい壁）]

① 事象の説明

一般にコンクリートは、温度が70℃程度ならばコンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃程度以下ならば圧縮強度の低下は少ない。

一方、コンクリート温度が190℃付近まで上昇すると結晶水が解放され始め、更に高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされている（（社）日本機械学会「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格」（2014））。

なお、コンクリートが高温に加熱された場合、強度が上昇するケースと低下するケースが見られる。強度の上昇をもたらす要因としては、セメントペースト中の未水和セメント粒子の水和の促進があり、強度低下をもたらす要因としては、コンクリート中の水分の逸散に伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大等が考えられる。コンクリートの強度性状は、各要因によって支配されるものと考えられる。

コンクリート構造物のうち、運転時に最も高温状態となる内部コンクリート（1次しゃへい壁）を評価対象とし、ガンマ発熱の影響の最も大きい炉心領域部及び原子炉容器支持構造物（以下、「RVサポート」という）からの伝熱の影響の最も大きいRVサポート直下部を評価点とした（図2.3-1）。

② 技術評価

コンクリートについては、(社)日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説」(1988)において、局部では90℃、一般部分では65℃という温度制限値が定められている。

泊2号炉の内部コンクリートの1次しゃへい壁のうち高温となるのは、ガンマ発熱の影響の最も大きい炉心領域部及びRVサポートからの伝熱の影響の最も大きいRVサポート直下部である。

このうち、炉心領域部におけるコンクリート内の最高温度は、温度分布解析の結果、約62℃である(図2.3-2)。

RVサポート直下部のコンクリートについては、伝熱による強度低下を防止する対策として、高温となるRVサポートを内部から空冷できる構造としており、断続的運転を前提とした場合における泊2号炉のRVサポート直下部におけるガンマ発熱を考慮したコンクリートの最高温度は、温度分布解析の結果、約53℃である。なお、当該条件は冷温停止状態を前提とした評価条件を包含している。

いずれの部位においても、コンクリートの最高温度は温度制限値以下であり、熱による強度低下は問題ない。

なお、最高温度を自由水の脱水が生じる110℃までとした長尾らの実験によれば、長期加熱時のコンクリートの圧縮強度については、65℃、90℃及び110℃で3.5年間加熱した場合でも、強度低下は見られない(図2.3-3)。また、サイクル加熱時のコンクリートの圧縮強度についても20～110℃で120回サイクル加熱した場合、長期加熱時と同様に、強度の大きな低下は見られない(図2.3-4)。これらの実験結果が示すように、熱による強度の変化は、加熱開始後、比較的短期間でほぼ収束するものと考えられる。したがって、コンクリート中の温度が110℃程度以下ならば、加熱時間及び繰り返し回数がコンクリートの強度に影響を与えないことを示していると考えられる。

泊2号炉においては、コンクリート中の最高温度が110℃を下回っており、長期加熱及びサイクル加熱による強度低下については問題ない。

以上から、熱による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

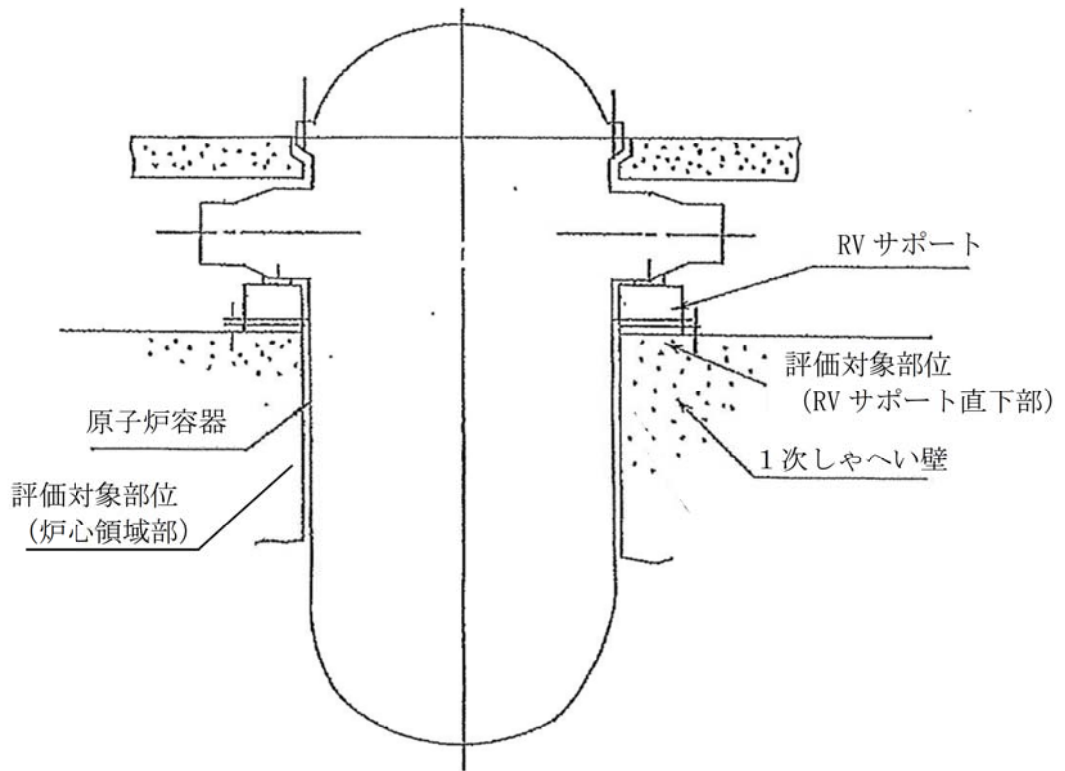


図 2.3-1 泊 2 号炉 内部コンクリート (1次しゃへい壁)

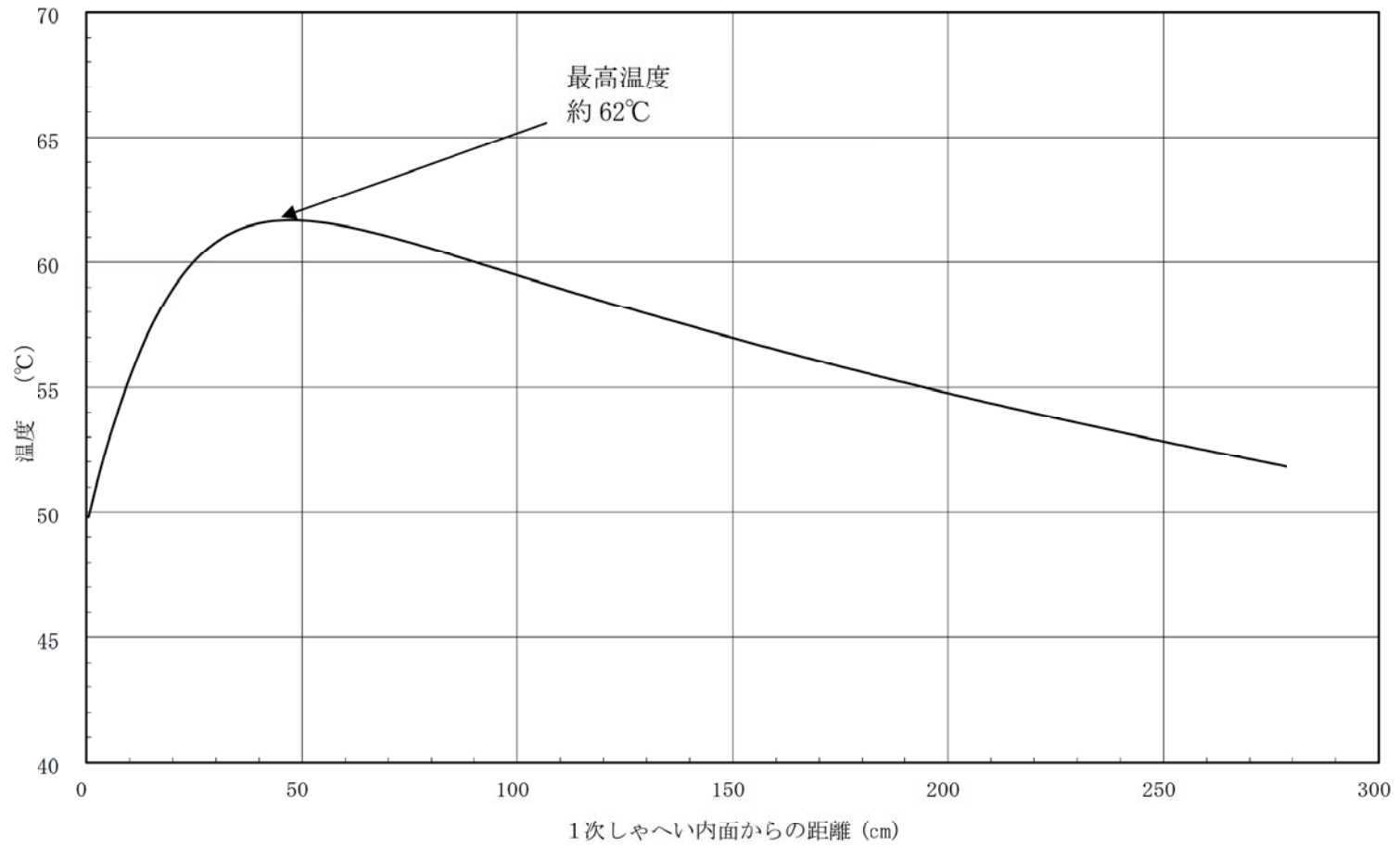
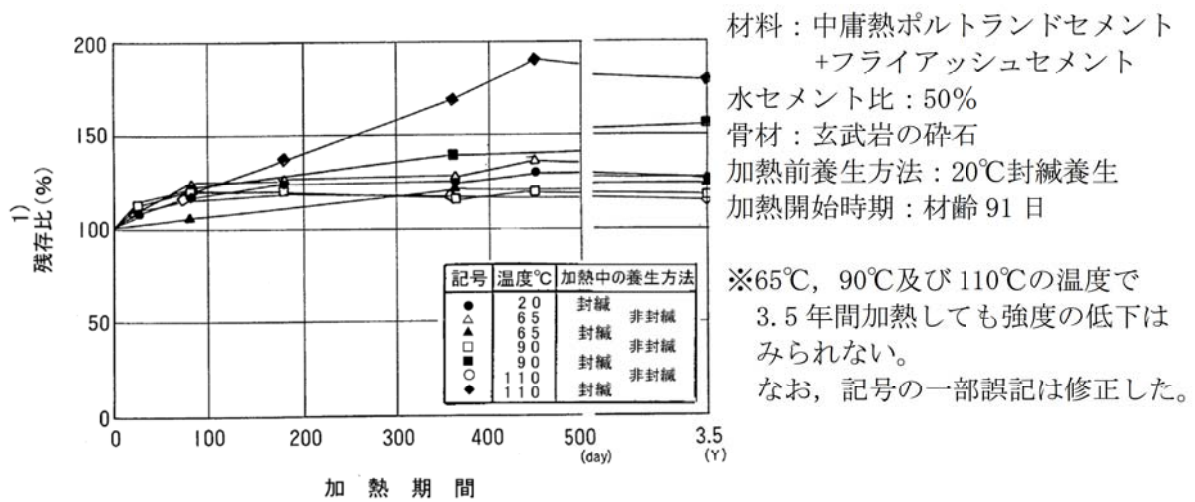
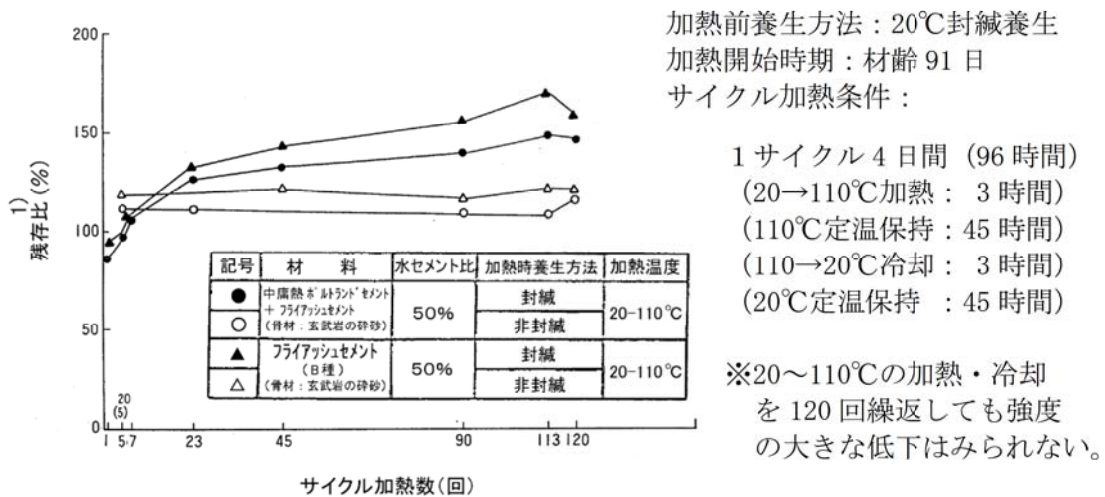


図 2.3-2 泊 2 号炉 1 次しゃへいコンクリート内温度分布



1) 残存比：加熱開始直前の圧縮強度に対する加熱後の圧縮強度の比
(出典：長尾ほか，「熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究」，
第48回セメント技術大会講演集(1994))

図 2.3-3 長期加熱後のコンクリート圧縮強度の変化



1) 残存比：加熱開始直前の圧縮強度に対する加熱後の圧縮強度の比
(出典：長尾ほか，「熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究」，
第48回セメント技術大会講演集(1994))

図 2.3-4 サイクル加熱後のコンクリート圧縮強度の変化 (20～110℃)

b. 放射線照射による強度低下 (◆) [内部コンクリート (1次しゃへい壁)]

① 事象の説明

コンクリートは、中性子照射やガンマ線照射に起因する内部発熱によるコンクリート中の水分逸散等により強度が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、中性子照射量及びガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリート (1次しゃへい壁) を評価対象とし、中性子照射量及びガンマ線照射量が最大となる1次しゃへい壁炉心側コンクリートを評価点とした。

② 技術評価

中性子照射と強度の関係に関しては、従来 Hilsdorf ほかの文献 (Hilsdorf, Kropp, and Koch, 「The Effect of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete」, American Concrete Institute Publication, SP 55-10 (1978)) における「中性子照射したコンクリートの圧縮強度 (fcu) と照射しないコンクリートの圧縮強度 (fcuo) の変化」を参照していた。一方、小嶋ほかの試験結果を踏まえた最新知見 (小嶋ほか, NTEC-2019-1001「中性子照射がコンクリートの強度に及ぼす影響」 (2019)) によると、コンクリートの圧縮強度は、およそ $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ の中性子照射量から低下する可能性が確認されている。

断続的運転を前提とした場合における泊2号炉の運転開始後60年時点で予想される中性子照射量 ($E > 0.11 \text{MeV}$) は、1次しゃへい壁炉心側コンクリートにおいて最大約 $3.6 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ となるが、照射量が $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ を超えるコンクリートの範囲は深さ方向に最大でも9cm程度であり、1次しゃへい壁の厚さ (最小壁厚279cm) に比べて小さいことから構造強度上問題とはならない。

また、日本原子力研究所 (現: 日本原子力研究開発機構) 動力試験炉の生体遮へいコンクリートから採取したコンクリートの試験結果によると、中性子照射量は上記より低い $1 \times 10^{17} \text{n/cm}^2$ ($E > 0.11 \text{MeV}$) ではあるが、圧縮強度の低下は見られない (図2.3-5)。

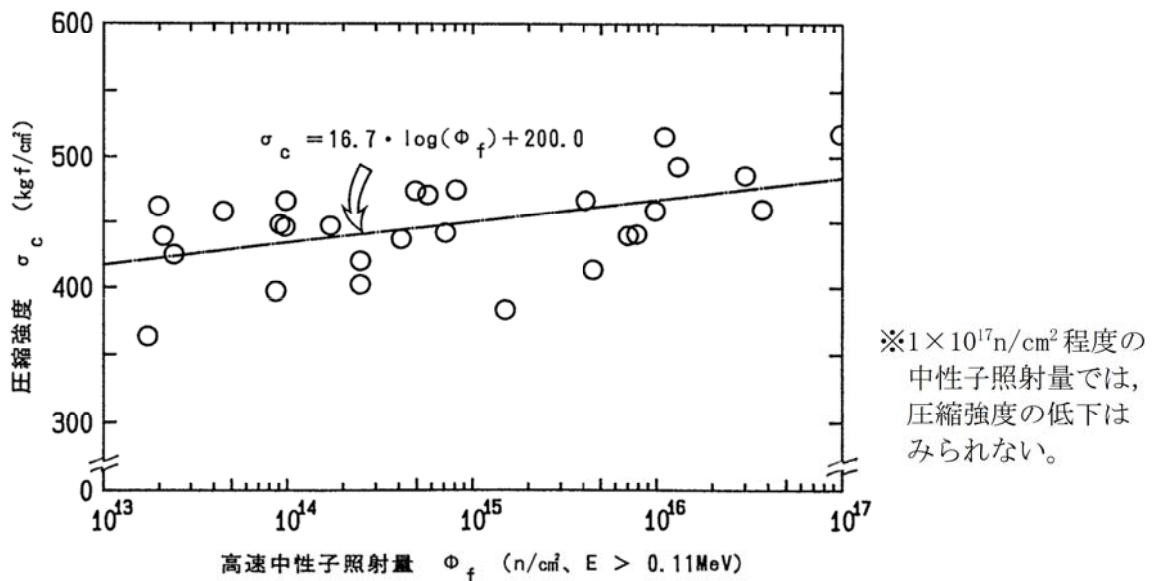
ガンマ線照射量と強度との関係については、Hilsdorf ほかの文献によると、少なくとも $2 \times 10^8 \text{Gy}$ ($2 \times 10^{10} \text{rad}$) 程度のガンマ線照射量では有意な強度低下は見られない (図2.3-6)。

断続的運転を前提とした場合における泊2号炉の運転開始後60年時点で予想されるガンマ線照射量は、1次しゃへい壁炉心側コンクリートにおいて

最大約 $2.4 \times 10^8 \text{Gy}$ (約 $2.4 \times 10^{10} \text{rad}$) となるが、照射量が $2 \times 10^{10} \text{rad}$ を超えるコンクリートの範囲は深さ方向に最大でも 8cm 程度であり、1 次しゃへい壁の厚さ (最小壁厚 279cm) に比べて小さいことから構造強度上問題とはならない。

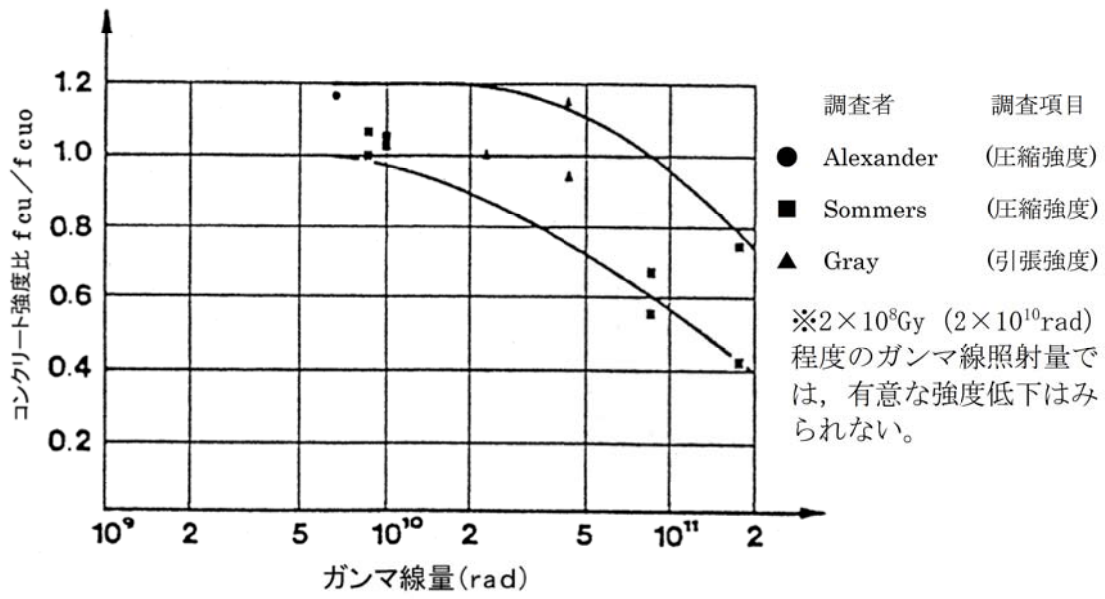
なお、当該条件は、冷温停止状態を前提とした評価条件を包含している。

以上から、放射線照射による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。



(出典：出井ほか，「JPDR 生体遮蔽コンクリートの材料強度特性」，日本原子力研究所 (現日本原子力研究開発機構)，JAERI-M 90-205 (1990))

図 2.3-5 高速中性子照射量とコンクリートの圧縮強度との関係



(出典 : Hilsdorf, Kropp, and Koch, 「The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete」, American Concrete Institute Publication, SP 55-10 (1978))

図 2.3-6 ガンマ線照射したコンクリートの強度 (f_{cu}) と照射しないコンクリートの強度 (f_{cu0}) の変化

c. 中性化による強度低下[外部しゃへい建屋，取水構造物]

① 事象の説明

コンクリートは空気中の二酸化炭素の作用を受けると、徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。

中性化がコンクリート内部に進行し、アルカリ性が失われると鉄筋周囲に生成されていた不動態被膜も失われ、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。更に、鉄筋の腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

中性化の進行度合いに影響を及ぼす要因としては、塗装等のコンクリート表面仕上げの有無、二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度とされている。

これらの要因を考慮し、屋内で仕上げが施されていない部位があり、環境条件の中性化に及ぼす影響度が比較的大きいと考えられる外部しゃへい建屋を評価対象として選定した。更に、屋外の代表として、仕上げが施されていない取水構造物についても評価対象とした。なお、評価点（サンプリング箇所）については、環境条件を踏まえて選定した。

② 技術評価

評価対象の設計最小かぶり厚さは、外部しゃへい建屋が7cm，取水構造物が8.4cmである。

鉄筋が腐食し始める時の中性化深さは、一般に屋外の雨掛かりの部分では鉄筋のかぶり厚さまで達したとき、屋内の部分では鉄筋のかぶり厚さから2cm奥まで達したときとされている（（社）日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」（2016））。

評価対象にて測定した中性化深さの平均値を表2.3-1に示す。なお、最大値は、外部しゃへい建屋では0.5cm，取水構造物（気中帯）では1.1cmである。

また、中性化の進行速度の推定式としては、岸谷式（（社）日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説」（1991））、森永式（森永、「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究」東京大学学位論文(1986)）及び中性化深さの実測値に基づく \sqrt{t} 式（（社）土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編」(2018)）がある。岸谷式、森永式及び中性化深さの実測値に基づく \sqrt{t} 式を用いて中性化深さを推定した結果についても表2.3-1に示す。運転開始後60年経過時点における外部しゃへい建屋及び取水構造物（気中帯）の中性化深さは、

鉄筋が腐食し始める時の中性化深さを下回っている。

また、表 2.3-1 には、参考に中性化深さを測定した時点における推定値として運転開始後 60 年経過時点と同様に評価した結果も合わせて示す。推定値による評価は、測定値に比べて保守的となっている。

更に、定期的に見視確認を実施しているが、鉄筋腐食に起因する有害なひび割れ等は発見されていない。

以上から、中性化による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

表 2.3-1 泊 2 号炉 コンクリートの中性化深さ

	中性化深さ (cm)			鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm)
	測定値 (調査時点の運転開始後経過年)	推定値*1		
		調査時点 (推定式)	運転開始後 60 年経過時点 (推定式)	
外部しゃへい建屋	0.34 (27 年)	3.79*2 (岸谷式)	5.65 (岸谷式)	9
取水構造物 (気中帯)	0.84 (26 年)	1.33*3 (岸谷式)	2.02 (岸谷式)	8.4

*1：岸谷式，森永式及び実測値に基づく \sqrt{t} 式による評価結果のうち最大値を記載

*2：運転開始後 27 年経過時点の推定値

*3：運転開始後 26 年経過時点の推定値

d. 塩分浸透による強度低下[取水構造物]

① 事象の説明

コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋はコンクリート中の水分及び酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

コンクリート構造物のうち、海水とその飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下にあり、塗装等の仕上げが施されていない部位がある取水構造物を評価対象とし、環境条件の異なる気中帯、干満帯及び海中帯を評価点とした。

② 技術評価

塩分によるコンクリート中の鉄筋への影響を評価する方法としては、鉄筋の腐食速度に着目し、鉄筋の腐食減量が、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の腐食減量に達するまでの期間の推定式として、森永式(森永, 「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究」東京大学学位論文(1986))が提案されている。

評価対象より試料を採取して測定した鉄筋位置での塩化物イオン濃度をもとに、森永式を適用して鉄筋の腐食減量を評価した結果を表2.3-2に示す。

表 2.3-2 泊 2 号炉 鉄筋の腐食減量

	調査時期 (運転開始後 経過年数)	鉄筋位置での塩化物 イオン濃度 (%) (塩化物イオン量) (kg/m ³)	鉄筋の腐食減量 (×10 ⁻⁴ g/cm ²)		
			調査時点	運転開 始後 60 年経過 時点	かぶりコンク リートにひび割 れが発生する時点
取水構造物 (気中帯)	2018 年 (26 年)	0.01 (0.14)	2.6	6.1	91.5
取水構造物 (干満帯)	2018 年 (26 年)	0.01 (0.15)	0.0	0.0	91.5
取水構造物 (海中帯)	2018 年 (26 年)	0.01 (0.15)	0.0	0.0	91.5

上記の結果より、運転開始後60年時点の鉄筋腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量を下回っている。

更に、定期的に目視確認を実施しているが、鉄筋腐食に起因する有害なひび割れ等は発見されていない。

以上から、塩分浸透による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題と
ならない。

e. 機械振動による強度低下[周辺補機棟及び燃料取扱棟（ディーゼル発電機基礎）]

① 事象の説明

機械振動により、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けると、ひび割れの発生、ひいては損傷に至る可能性がある。

コンクリート構造物のうち、比較的大きな振動を受ける周辺補機棟及び燃料取扱棟（ディーゼル発電機基礎）を評価対象とし、局部的に影響を受ける可能性がある基礎ボルト周辺のコンクリートを評価点とした。

② 技術評価

基礎ボルト周辺のコンクリートに作用する荷重のうち、鉛直方向については、機械の自重やナットの締め付けによる圧縮力が常時作用している。これに加えて機械振動による荷重が作用しても、通常、機械振動による荷重は機械の自重に比べて小さいことから、基礎ボルトの有意な引抜き荷重やコンクリートへの過大な圧縮力は発生せず、コンクリートのひび割れ発生には至らないと考えられる。

また、水平方向については、基礎ボルトの機械振動による水平変位は、コンクリート内部よりもコンクリート表面部の方が大きいため、コンクリートが機械振動により受ける応力は、定着部表面部の方がコンクリート内部よりも大きくなる。したがって、コンクリートにひび割れが発生する場合には、表面から発生する可能性が高いと考えられる。このため、機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機械の異常振動や定着部周辺コンクリート表面に有害なひび割れが発生するものと考えられる。

大きな振動を受ける周辺補機棟及び燃料取扱棟（ディーゼル発電機基礎）の機器支持部表面に、これまでこのようなひび割れ等の異常は確認されていないが、健全性を維持するためには、ひび割れ等の目視確認を定期的を実施していくことが前提となる。

現状のコンクリート強度の確認として、泊2号炉のコンクリート構造物から採取した試料の破壊試験を行った結果、平均圧縮強度は表2.3-3に示すとおりとなった。いずれも、平均圧縮強度は設計基準強度を上回っている。

表 2.3-3 泊2号炉 コンクリートの破壊試験結果

設計基準強度	実施時期 (運転開始後 経過年数)	平均圧縮強度	備考
23.5N/mm ² (240kgf/cm ²)	2017年, 2018年 (26年, 27年)	38.2N/mm ² (390kgf/cm ²)	外部しゃへい建屋
23.5N/mm ² (240kgf/cm ²)	2017年 (26年)	51.6N/mm ² (527kgf/cm ²)	内部コンクリート
23.5N/mm ² (240kgf/cm ²)	2017年 (26年)	35.8N/mm ² (365kgf/cm ²)	原子炉格納施設の基礎
23.5N/mm ² (240kgf/cm ²)	2018年 (27年)	37.4N/mm ² (382kgf/cm ²)	周辺補機棟及び 燃料取扱棟
22.1N/mm ² (225kgf/cm ²)	2018年 (27年)	39.2N/mm ² (400kgf/cm ²)	原子炉補助建屋
23.5N/mm ² (240kgf/cm ²)	2018年 (26年)	47.4N/mm ² (484kgf/cm ²)	取水構造物

(2) 現状保全

コンクリート構造物の強度低下については、定期的に屋内、屋外ともコンクリート表面のひび割れ、塗装の劣化等の目視確認を実施し、強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替え等の補修を実施している。

また、コンクリート構造物の強度低下については、非破壊試験等による点検を実施し、強度に急激な劣化が生じていないことを確認している。

今後も、コンクリート構造物の強度低下については、定期的に非破壊試験等による点検を実施し、強度に急激な劣化が生じていないことを確認する。

(3) 総合評価

健全性評価結果から判断して、今後、コンクリートの強度低下の可能性は否定できないが、現状において設計基準強度を上回っており、強度低下が急激に発生する可能性は極めて小さいと考えられる。

なお、「a. 熱による強度低下」及び「b. 放射線照射による強度低下」については、冷温停止状態では進展することがないことから、更に問題となる可能性はないと考えられる。

また、定期的に強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことの確認及びコンクリート構造物の強度低下について非破壊試験等による確認を行い、必要に応じて塗装の塗替え等の補修を実施していることから、保全方法は適切であり、現状保全を継続することにより、健全性の維持は可能であると考えられる。

(4) 高経年化への対応

コンクリート構造物の強度低下については、今後も現状の保全方法により健全性を確認していく。

2.3.2 コンクリートの遮へい能力の低下

(1) 健全性評価

以下に、「2.2 経年劣化事象の抽出」で示した、コンクリート構造物の遮へい能力の低下をもたらす可能性のある要因ごとに、長期使用時の健全性評価を行う。

a. 熱による遮へい能力低下（◆）〔内部コンクリート（1次しゃへい壁）〕

① 事象の説明

コンクリートは、周辺環境からの伝達熱及び放射線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮へい能力が低下する可能性がある。コンクリート構造物のうち、内部コンクリート（1次しゃへい壁）を評価対象とし、運転時に最も高温となる炉心領域部を評価点とした。

② 技術評価

放射線防護の観点から、コンクリート遮へい体の設計に適用されている「コンクリート遮蔽体設計規準」（R.G. Jaeger et al., 「Engineering Compendium on Radiation Shielding (ECRS) VOL. 2」）には、周辺及び内部最高温度の制限値が示されており、コンクリートに対しては中性子遮へいで88℃以下、ガンマ線遮へいで177℃以下となっている。

これに対し、断続的運転を前提とした場合における炉心領域部のコンクリートの温度は、温度分布解析の結果、最高でも約62℃と低い値であり、水分の逸散はほとんどないと考えられることから、遮へい能力への影響はないと考えられる。なお、当該条件は冷温停止状態を前提とした評価条件を包含している。

以上から、熱による遮へい能力低下に対しては、長期健全性評価上問題とされない。

(2) 現状保全

コンクリート構造物の遮へい能力低下については、定期的を目視確認を実施し、遮へい能力に支障をきたす可能性のあるひび割れ等の有意な欠陥がないことを確認している。

(3) 総合評価

健全性評価結果から判断して、遮へい能力低下の可能性はないと考える。なお、本事象については冷温停止状態では進展することがないことから、更に問題となる可能性はないと考える。

また、ひび割れ等については目視確認で検知可能であり、保全方法として適切である。

(4) 高経年化への対応

コンクリート構造物の遮へい能力低下に対しては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべき項目はないと判断する。

3. 代表構造物以外への展開

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価については、「2.2 経年劣化事象の抽出」及び「2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の評価」に示すとおり、代表構造物について、各経年劣化事象に影響を及ぼす要因ごとに、使用条件を考慮して実施している。コンクリート構造物及び鉄骨構造物の場合、代表構造物以外の使用条件は、代表構造物に包含されているため、技術評価結果も代表構造物に包含された結果となる。

したがって、代表構造物の技術評価を行ったことで、代表構造物以外の技術評価は実施済みである。

泊発電所 2 号炉

計測制御設備の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

北海道電力株式会社

泊発電所2号炉（以下、泊2号炉という。）の計測制御設備のうち、評価対象機器である重要度分類指針におけるクラス1、2及び高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器であって、冷温停止状態維持に必要な機器について、図1に示すとおり、目的・機能を基にプロセス計測制御設備と制御設備に分類している。

プロセス計測制御設備については、計測対象及び信号伝送方式でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、使用条件及び主要構成機器の観点から代表機器を選定した。

制御設備については、機能でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、主要構成機器及び重要度の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表1及び表2に、機能を表3に示す。

本評価書においては、これら代表機器についての技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

また、冷温停止状態維持を前提とした本評価書では、「特別な保全計画」を含め、現状保全では「定期的」と記載するとともに、その上で点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

- 1 プロセス計測制御設備
- 2 制御設備

本評価書では経年劣化事象の評価のうち、劣化の観点から、冷温停止状態維持の前提に比べ、断続的運転の前提の方が条件が厳しいものは、断続的運転の条件による評価としている。

1. プロセス計測制御設備で評価

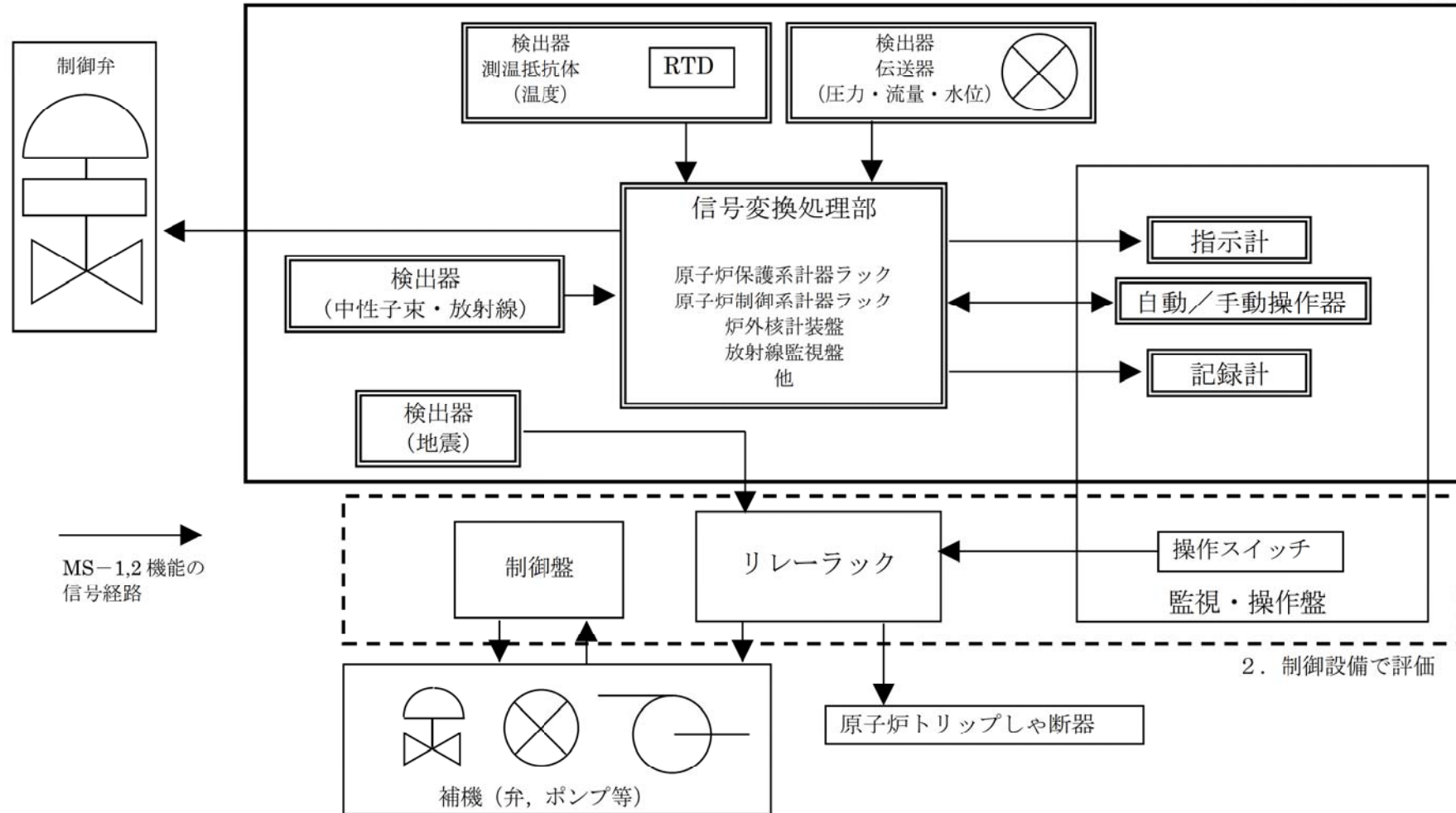


図1 泊2号炉 計測制御設備の評価区分

表1 (1/3) 泊2号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段：検出器/下段：検出器以外)	温度 (℃)		
圧力	連続	1次冷却材圧力 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-1	原子炉格納容器内	約43	◎	要求される環境条件が厳しいことから選定
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		
		加圧器圧力 (4)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器, 手動操作器, 電流/空気圧変換器	MS-1	原子炉格納容器内	約43		
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		
		制御用空気ヘッダ圧力 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉建屋	約40		
					継電器室, 中央制御室	約26		
原子炉補機冷却海水供給母管圧力 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計	MS-2	循環水ポンプ建屋	約40				
			継電器室, 中央制御室	約26				
流量	連続	余熱除去ライン流量 (2)	オリフィス, 伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器, 手動操作器, 電流/空気圧変換器	MS-2	原子炉建屋	約40	◎	
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

表1 (2/3) 泊2号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段：検出器/下段：検出器以外)	温度 (°C)		
水位	連続	加圧器水位 (4)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器, 手動操作器	MS-1	原子炉格納容器内	約43	◎	要求される環境条件が厳しいこと及び主要構成機器数が多いことから選定
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		
		ほう酸タンク水位 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉建屋	約40		
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		
		格納容器再循環サンプル水位 (4)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉格納容器内	約43		
					継電器室, 中央制御室	約26		
		蒸気発生器水位 (狭域) (8)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-1	原子炉格納容器内	約43		
					継電器室, 中央制御室	約26		
		原子炉補機冷却水サージタンク水位 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉補助建屋	約40		
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		
		燃料取替用水タンク水位 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	燃料取替用水タンク建屋	約40		
継電器室, 中央制御室	約26							

*1：機能は最上位の機能を示す。

表1 (3 / 3) 泊2号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段：検出器/下段：検出器以外)	温度 (°C)		
温度	連続	1次冷却材高温側温度 (広域) (2)	測温抵抗体, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉格納容器内	343*2	◎	
					継電器室, 中央制御室	約26		
	1次冷却材低温側温度 (広域) (2)	測温抵抗体, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉格納容器内	343*2			
				継電器室, 中央制御室	約26			
中性子束	連続	中性子源領域中性子束 (2)	中性子束検出器, 前置増幅器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-1	原子炉格納容器内	約33	◎	
					原子炉建屋	約35		
					継電器室, 中央制御室	約26		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度

表 2 (1 / 2) 泊 2 号炉 主要な制御設備

分離 基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表 機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
リレー ラック	原子炉安全保護盤 (2)	—	補助リレー, 半導体基板	操作スイッチ	—	—	電源装置, ヒューズ	MS-1	◎	主要構成機 器
	安全保護系シーケンスキ ャビネット (4)	—	補助リレー, タイマ	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2	MS-1		
	安全保護系補助リレーラ ック (8)	—	補助リレー, タイマ	—	—	—	NFB*2	MS-1		
監視・ 操作盤	主盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯, 故障表示器	—	NFB*2	MS-1	◎	重要機器の 監視及び操 作を行う
	原子炉補助盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯, 故障表示器	—	NFB*2	MS-1		
	換気空調盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯, 故障表示器	—	NFB*2	MS-1		
	中央制御室外原子炉停止 盤 (4)	—	—	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2	MS-2		
	所内盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯, 故障表示器, 指示計	—	NFB*2	MS-1		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: ノーヒューズブレーカ

表 2 (2 / 2) 泊 2 号炉 主要な制御設備

分離基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
制御盤	ディーゼル発電機制御盤 (12)	励磁装置, 保護継電器 (静止形), 計器用変圧器, 計器用変流器, 電磁ビックアップ	電圧調整装置, 電圧設定器, 回転数検出装置, 補助リレー, タイマ, ヒューズ	操作スイッチ, ロックアウトリレー	表示灯, 指示計, 故障表示器	電磁接触器, シリコン整流器	NFB*2	MS-1	◎	主要構成機器
	充てんポンプ速度制御盤・補助盤 (3)	—	速度制御装置, タイマ	速度設定器, 操作スイッチ	指示計	—	NFB*2, 変圧器, ヒューズ	MS-1		
	制御用空気圧縮機盤 (2)	—	補助リレー, タイマ, 調節計	—	—	整流器	NFB*2, 変圧器	MS-1		
	空調用冷凍機制御盤 (4)	温度スイッチ, 電流変換器	補助リレー, タイマ, 調節計	—	指示計	—	NFB*2, 変圧器	MS-1		
	1次冷却材ポンプ母線計測盤 (2)	保護継電器 (静止形), 計器用変圧器	補助リレー, タイマ	—	—	—	ヒューズ	MS-1		

*1 : 機能は最上位の機能を示す。

*2 : ノーヒューズブレーカ

表3 泊2号炉 主要な計測制御設備の機能

設備区分	機能概要	
プロセス計測制御設備	プロセス値（圧力・流量・水位等）を検出器で電気信号に変換し、信号変換処理部にて信号変換処理・演算処理を行い、指示計・記録計・自動／手動操作器に伝達する。指示計・記録計は、制御設備の監視・操作盤に取り付けられており、信号変換処理部から伝達されてきた電気信号を工学値に変換し、指示又は記録する。自動／手動操作器は、制御設備の監視・操作盤に取り付けられており、入力値と設定値との差に応じた電気信号を出力する。	
制御設備	リレーラック	プロセス計測制御設備からの信号及び外部操作信号を受け、補助リレー、タイマにより原子炉の保護／制御ロジックを構成し、原子炉トリップ、安全保護系、工学的安全施設等へ信号を伝達する。
	監視・操作盤	プロセス計測制御設備の一部である指示計・記録計・自動／手動操作器により、状態監視及び操作を行うとともに、操作スイッチによる補機操作及び故障表示器・表示灯による状態監視を行う。
	制御盤	中央制御室・継電器室以外に設置されている制御設備であり操作スイッチ・保護継電器・補助リレー等による補機の保護／制御及び故障表示器・表示灯による補機の状態監視を行う。

1 プロセス計測制御設備

[計測対象]

- ① 圧力
- ② 流量
- ③ 水位
- ④ 温度
- ⑤ 中性子束

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	5
2.1 構造, 材料及び使用条件	5
2.2 経年劣化事象の抽出	26
3. 代表機器以外への展開	36
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	37

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されているプロセス計測制御設備の主な仕様を表1-1に示す。

これらのプロセス計測制御設備を計測対象及び信号伝送方式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すプロセス計測制御設備について、計測対象及び信号伝送方式を分離基準として考えると、合計 5 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 計測対象：圧力，信号伝送方式：連続

このグループには、1 次冷却材圧力，加圧器圧力等が属するが，要求される環境条件が厳しい 1 次冷却材圧力を代表機器とする。

(2) 計測対象：流量，信号伝送方式：連続

このグループには，余熱除去ライン流量のみが属するため，余熱除去ライン流量を代表機器とする。

(3) 計測対象：水位，信号伝送方式：連続

このグループには，加圧器水位，ほう酸タンク水位，格納容器再循環サンプル水位等が属するが，要求される環境が厳しく，主要構成機器数の多い加圧器水位を代表機器とする。

(4) 計測対象：温度，信号伝送方式：連続

このグループには，1 次冷却材高温側温度（広域）及び 1 次冷却材低温側温度（広域）が属するが，主要構成機器及び環境条件が同じであるため，1 次冷却材高温側温度（広域）を代表機器とする。

(5) 計測対象：中性子束，信号伝送方式：連続

このグループには，中性子源領域中性子束のみが属するため，中性子源領域中性子束を代表機器とする。

表1-1(1/3) 泊2号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
圧力	連続	1次冷却材圧力 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-1	原子炉格納容器内	約43	◎	要求される環境条件が厳しいことから選定
					継電器室, 中央制御室	約26		
		加圧器圧力 (4)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器, 手動操作器, 電流/空気圧変換器	MS-1	原子炉格納容器内	約43		
					継電器室, 中央制御室	約26		
		制御用空気ヘッド圧力 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉補助建屋	約40		
					継電器室, 中央制御室	約26		
		原子炉補機冷却海水供給母管圧力 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計	MS-2	循環水ポンプ建屋	約40		
					継電器室, 中央制御室	約26		
流量	連続	余熱除去ライン流量 (2)	オリフィス, 伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器, 手動操作器, 電流/空気圧変換器	MS-2	原子炉建屋	約40	◎	
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

表1-1(2/3) 泊2号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
水位	連続	加圧器水位 (4)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器, 手動操作器	MS-1	原子炉格納容器内	約43	◎	要求される環境条件が厳しいこと及び主要構成機器数が多いことから選定
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		
		ほう酸タンク水位 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉建屋	約40		
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		
		格納容器再循環サンプル水位 (4)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉格納容器内	約43		
					継電器室, 中央制御室	約26		
		蒸気発生器水位 (狭域) (8)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-1	原子炉格納容器内	約43		
					継電器室, 中央制御室	約26		
		原子炉補機冷却水サージタンク水位 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉補助建屋	約40		
					継電器室, 中央制御室	約26		
					原子炉補助建屋	約40		
		燃料取替用水タンク水位 (2)	伝送器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	燃料取替用水タンク建屋	約40		
継電器室, 中央制御室	約26							

*1: 機能は最上位の機能を示す。

表1-1(3/3) 泊2号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定			
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由		
		設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)			温度 (°C)					
温度	連続	1次冷却材高温側温度(広域) (2)	測温抵抗体, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉格納容器内	343*2	◎			
		1次冷却材低温側温度(広域) (2)	測温抵抗体, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-2	原子炉格納容器内	343*2				
					継電器室, 中央制御室	約26				
					原子炉建屋	約40				
中性子束	連続	中性子源領域中性子束 (2)	中性子束検出器, 前置増幅器, 信号変換処理部, 指示計, 記録計	MS-1	原子炉格納容器内	約33	◎			
					原子炉建屋	約35				
					継電器室, 中央制御室	約26				

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の5機器のプロセス計測制御設備について技術評価を実施する。

- ① 1次冷却材圧力
- ② 余熱除去ライン流量
- ③ 加圧器水位
- ④ 1次冷却材高温側温度（広域）
- ⑤ 中性子源領域中性子束

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 1次冷却材圧力計測制御装置

(1) 構造

泊2号炉の1次冷却材圧力計測制御装置は計装配管、計器弁、伝送器、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計及び支持構造物で構成されている。

a. 計装配管（計装用取出配管及び計器元弁含む）

計装配管は、1次冷却材の圧力を伝送する機能を有する。

b. 計器弁

計器弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

c. 伝送器

伝送器は、1次冷却材の圧力をその計測範囲に応じた電気信号に変換し、伝送する機能を有する。

d. 信号変換処理部

信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック）は、伝送器への電源供給や伝送器からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

e. 電源装置

電源装置（原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

f. 指示計

指示計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を圧力値に変換し、指示する機能を有する。

g. 記録計

記録計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を圧力値に変換し、記録する機能を有する。

h. 支持構造物

原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラックの筐体はチャンネル

ベースに取付ボルトで据付けられており、チャンネルベースは基礎ボルトで据付けられている。

スタンションは伝送器を支持しており、埋込金物で据付けられている。

パイプハンガークランプは計装配管をサポート台に固定しており、サポート台はサポートに溶接されている。また、サポートはベースプレートに溶接されており、ベースプレートは基礎ボルトで据付けられている。

泊2号炉の1次冷却材圧力計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の1次冷却材圧力計測制御装置の主要機器の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

No.	部位
①	計装用取出配管
②	計器元弁
③	計装配管
④	計器弁
⑤	伝送器
⑥	信号変換処理部
⑦	電源装置
⑧	指示計
⑨	記録計 (ヒューズ含む)
⑩	筐体
⑪	スタンション
⑫	チャンネルベース
⑬	取付ボルト
⑭	ベースプレート
⑮	サポート
⑯	サポート台
⑰	パイプハンガー
⑱	ライナー
⑲	パイプハンガークランプ
⑳	基礎ボルト
㉑	埋込金物

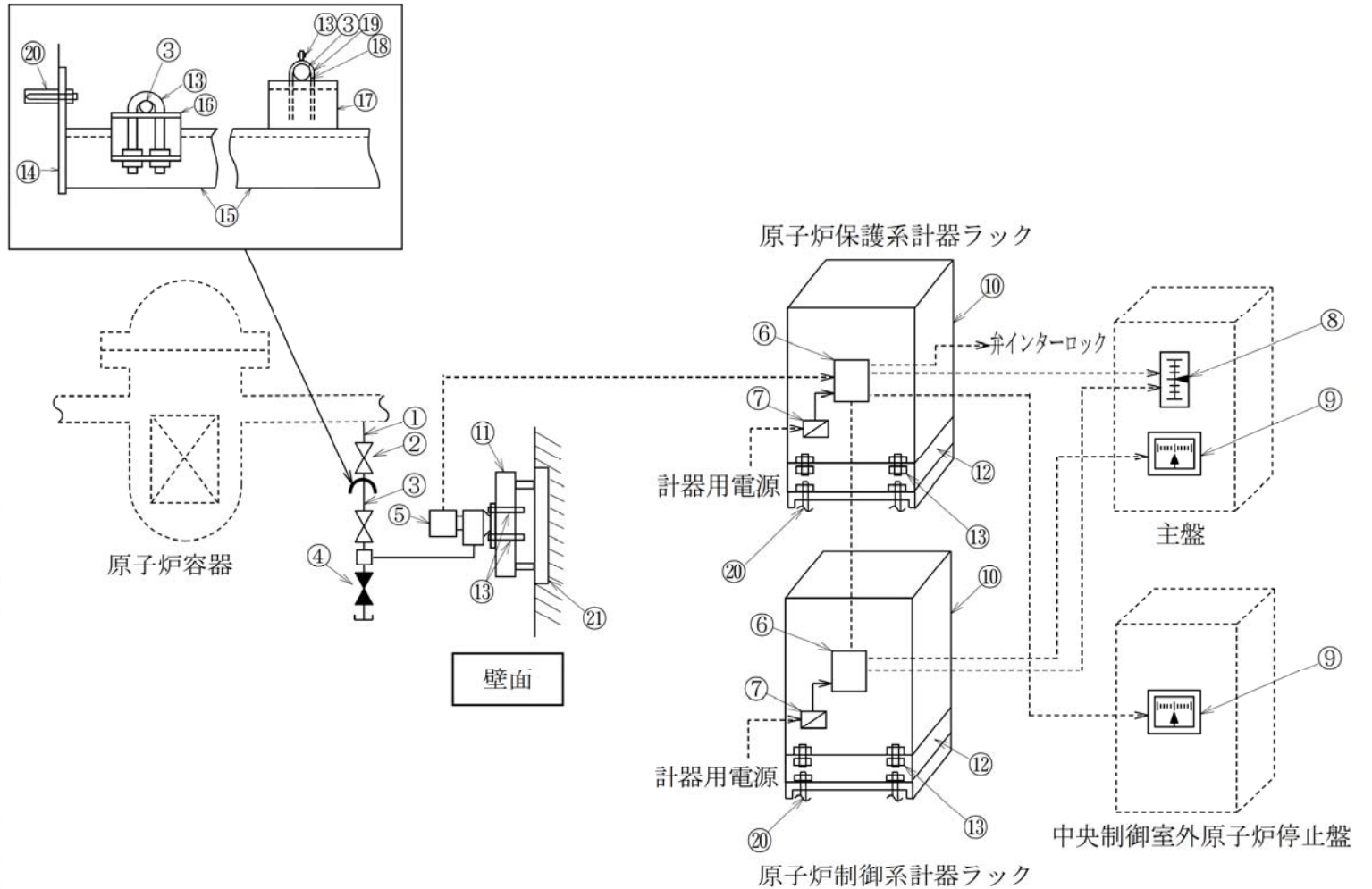


図2.1-1 泊2号炉 1次冷却材圧力計測制御装置主要機器構成図

表2.1-1 泊2号炉 1次冷却材圧力計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 伝達機能構成品	計装用取出配管	ステンレス鋼	
	計器元弁	ステンレス鋼	
	計装配管	ステンレス鋼	
	計器弁	ステンレス鋼	
プロセス値の 検出機能構成品	伝送器	消耗品・定期取替品	
電源供給・信号変換・演算・制御機能構成品	原子炉保護系計器ラック	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
	原子炉制御系計器ラック	電源装置	半導体
		電解コンデンサ	消耗品・定期取替品
工学値への変換機能構成品	指示計	炭素鋼, プラスチック	
	記録計		半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
機器の支持機能構成品	筐体	炭素鋼	
	スタンション	炭素鋼	
	チャンネルベース	炭素鋼	
	取付ボルト	ステンレス鋼, 炭素鋼	
	ベースプレート	炭素鋼	
	サポート	炭素鋼	
	サポート台	ステンレス鋼	
	パイプハンガー	炭素鋼 (亜鉛メッキ)	
	ライナー	ステンレス鋼	
	パイプハンガーランプ	炭素鋼 (亜鉛メッキ)	
	基礎ボルト	炭素鋼	
	埋込金物	炭素鋼	

表2.1-2 泊2号炉 1次冷却材圧力計測制御装置の主要機器の使用条件

	伝送器	信号変換処理部, 電源装置, 指示計, 記録計	記録計
	通常運転時		
設置場所	原子炉格納容器内	継電器室, 中央制御室	原子炉補助建屋
周囲温度	約43°C*1	約26°C*2	約40°C*2
圧力	約0.0098MPa[gage] 以下	—	—
放射線	2mGy/h*3	—	—

*1：通常運転時の原子炉格納容器内伝送器周囲の平均温度の最大実測値

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内伝送器周囲の平均線量率の最大実測値

2.1.2 余熱除去ライン流量計測制御装置

(1) 構造

泊2号炉の余熱除去ライン流量計測制御装置は、オリフィス、計装配管、計器弁、伝送器、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計、自動/手動操作器及び支持構造物で構成されている。

a. オリフィス（計装用取出配管を含む）

オリフィスは、配管内に取付けられた流量絞り機構であり、管中にオリフィスを入れると、上流側では高圧、下流側では低圧となる。この差圧の平方根が流速に比例することを利用して流量を計測する。なお、オリフィスは計装用取出配管と一体タイプのものを使用している。

b. 計装配管（計器元弁含む）

計装配管は、余熱除去系統の圧力を伝送する機能を有する。

c. 計器弁

計器弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

d. 伝送器

伝送器は、オリフィスの上流と下流の流体の差圧をその計測範囲に応じた電気信号に変換し、伝送する機能を有する。

e. 信号変換処理部

信号変換処理部(原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック)は、伝送器への電源供給や伝送器からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

f. 電源装置

電源装置（原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

g. 自動/手動操作器

自動/手動操作器は、信号変換処理部（原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を流量値に変換し、指示する機能を有する。

また、自動制御時は、入力値（プロセス値）と設定値との差に応じた電気信号を出力し、手動制御時には目標とする値の電気信号を出力する機能を有する。

h. 手動操作器

手動操作器は、信号変換処理部（原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を流量値に変換し、指示する機能を有する。

また、手動制御時には目標とする値の電気信号を出力する機能を有する。

i. 電流／空気圧変換器

電流／空気圧変換器は、自動／手動操作器（原子炉補助盤）及び手動操作器（中央制御室外原子炉停止盤）からの電気信号を、空気作動連続制御弁を適切に駆動させる空気圧に変換する機能を有する。

j. 指示計

指示計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック）から出力された電気信号を流量値に変換し、指示する機能を有する。

k. 記録計

記録計は、信号変換処理部（原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を流量値に変換し、記録する機能を有する。

1. 支持構造物

原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラックの筐体はチャンネルベースに取付ボルトで据付けられており、チャンネルベースは基礎ボルトで据付けられている。

スタンションは伝送器を支持しており、埋込金物で据付けられている。

パイプハンガークランプは計装配管をサポート台に固定しており、サポート台はサポートに溶接されている。また、サポートはベースプレートに溶接されており、ベースプレートは基礎ボルトで据付けられている。

泊2号炉の余熱除去ライン流量計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の余熱除去ライン流量計測制御装置の主要機器の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。

No.	部位
①	計装用取出配管
②	計器元弁
③	計装配管
④	計器弁
⑤	伝送器
⑥	信号変換処理部
⑦	電源装置
⑧	電流/空気圧変換器
⑨	自動/手動操作器
⑩	指示計
⑪	記録計
⑫	筐体
⑬	スタンション
⑭	チャンネルベース
⑮	取付ボルト
⑯	ベースプレート
⑰	サポート
⑱	サポート台
⑲	パイプハンガー
⑳	ライナー
㉑	パイプハンガークランプ
㉒	基礎ボルト
㉓	オリフィス
㉔	手動操作器
㉕	埋込金物

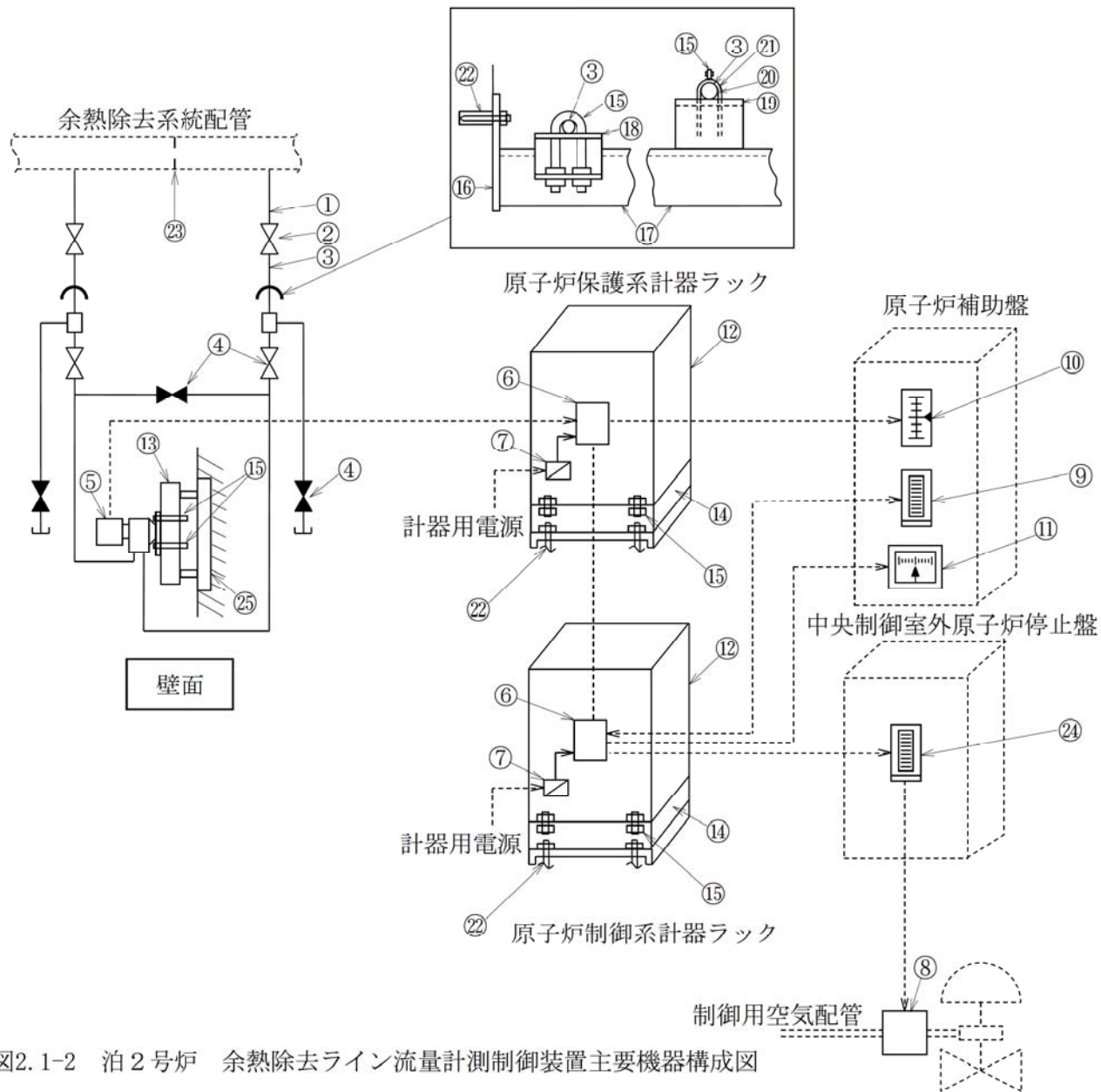


図2.1-2 泊2号炉 余熱除去ライン流量計測制御装置主要機器構成図

表2.1-3 泊2号炉 余熱除去ライン流量計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 伝達機能構成品	オリフィス	ステンレス鋼	
	計装用取出配管	ステンレス鋼	
	計器元弁	ステンレス鋼	
	計装配管	ステンレス鋼	
	計器弁	ステンレス鋼	
プロセス値の 検出機能構成品	伝送器	アルミニウム合金鋳物, ステンレス鋼, 半導体	
電源供給・信号 変換・演算・制 御機能構成品	原子炉保護系計器 ラック	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
	原子炉制御系計器 ラック	電源装置	半導体
		電解コンデンサ	消耗品・定期取替品
	自動／手動操作器		半導体
	手動操作器		半導体
	電流／空気圧変換器		コイル, コントロールリレー
工学値への変換 機能構成品	指示計	炭素鋼, プラスチック	
	記録計		半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
機器の支持機能 構成品	筐体	炭素鋼	
	スタンション	炭素鋼	
	チャンネルベース	炭素鋼	
	取付ボルト	ステンレス鋼, 炭素鋼	
	ベースプレート	炭素鋼	
	サポート	炭素鋼	
	サポート台	ステンレス鋼	
	パイプハンガー	炭素鋼 (亜鉛メッキ)	
	ライナー	ステンレス鋼	
	パイプハンガークランプ	炭素鋼 (亜鉛メッキ)	
	基礎ボルト	炭素鋼	
	埋込金物	炭素鋼	

表2.1-4 泊2号炉 余熱除去ライン流量計測制御装置の主要機器の使用条件

	伝送器, 電流/空気圧変換器	信号変換処理部, 電源装置, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器	手動操作器
設置場所	原子炉建屋	継電器室, 中央制御室	原子炉補助建屋
周囲温度	約40℃*1	約26℃*1	約40℃*1

*1: 原子炉格納容器外の設計平均温度

2.1.3 加圧器水位計測制御装置

(1) 構造

泊2号炉の加圧器水位計測制御装置は計装配管、計器弁、伝送器、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計、自動／手動操作器及び支持構造物で構成されている。

a. 計装配管

計装配管は、加圧器の圧力を伝送する機能を有する。

b. 計器弁

計器弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

c. 伝送器

伝送器は、加圧器の液相部と気相部との差圧をその計測範囲に応じた電気信号に変換し、伝送する機能を有する。

d. 信号変換処理部

信号変換処理部(原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック)は、伝送器への電源供給や検出器からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

e. 電源装置

電源装置(原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック)は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

f. 自動／手動操作器

自動／手動操作器は、信号変換処理部(原子炉制御系計器ラック)から出力された電気信号を流量値に変換し、指示する機能を有する。

また、自動制御時は、入力値(プロセス値)と設定値との差に応じた電気信号を出力し、手動制御時には目標とする値の電気信号を出力する機能を有する。

g. 手動操作器

手動操作器は、信号変換処理部(原子炉制御系計器ラック)から出力された電気信号を流量値に変換し、指示する機能を有する。

また、手動制御時には目標とする値の電気信号を出力する機能を有する。

h. 指示計

指示計は、信号変換処理部(原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック)から出力された電気信号を水位値に変換し、指示する機能を有する。

i. 記録計

記録計は、信号変換処理部(原子炉制御系計器ラック)から出力された電気信号を水位値に変換し、記録する機能を有する。

j. 支持構造物

原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラックの筐体はチャンネルベースに取付ボルトで据付けられており、チャンネルベースは基礎ボルトで据付けられている。

スタンションは伝送器を支持しており、埋込金物で据付けられている。

パイプハンガークランプは計装配管をサポート台に固定しており、サポート台はサポートに溶接されている。また、サポートはベースプレートに溶接されており、ベースプレートは基礎ボルトで据付けられている。

泊2号炉の加圧器水位計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の加圧器水位計測制御装置の主要機器の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。

No.	部位
①	計装配管
②	計器弁
③	伝送器
④	信号変換処理部
⑤	電源装置
⑥	自動/手動操作器
⑦	指示計
⑧	記録計
⑨	筐体
⑩	スタンション
⑪	チャンネルベース
⑫	取付ボルト
⑬	ベースプレート
⑭	サポート
⑮	サポート台
⑯	パイプハンガー
⑰	ライナー
⑱	パイプハンガークランプ
⑳	手動操作器
㉑	埋込金物

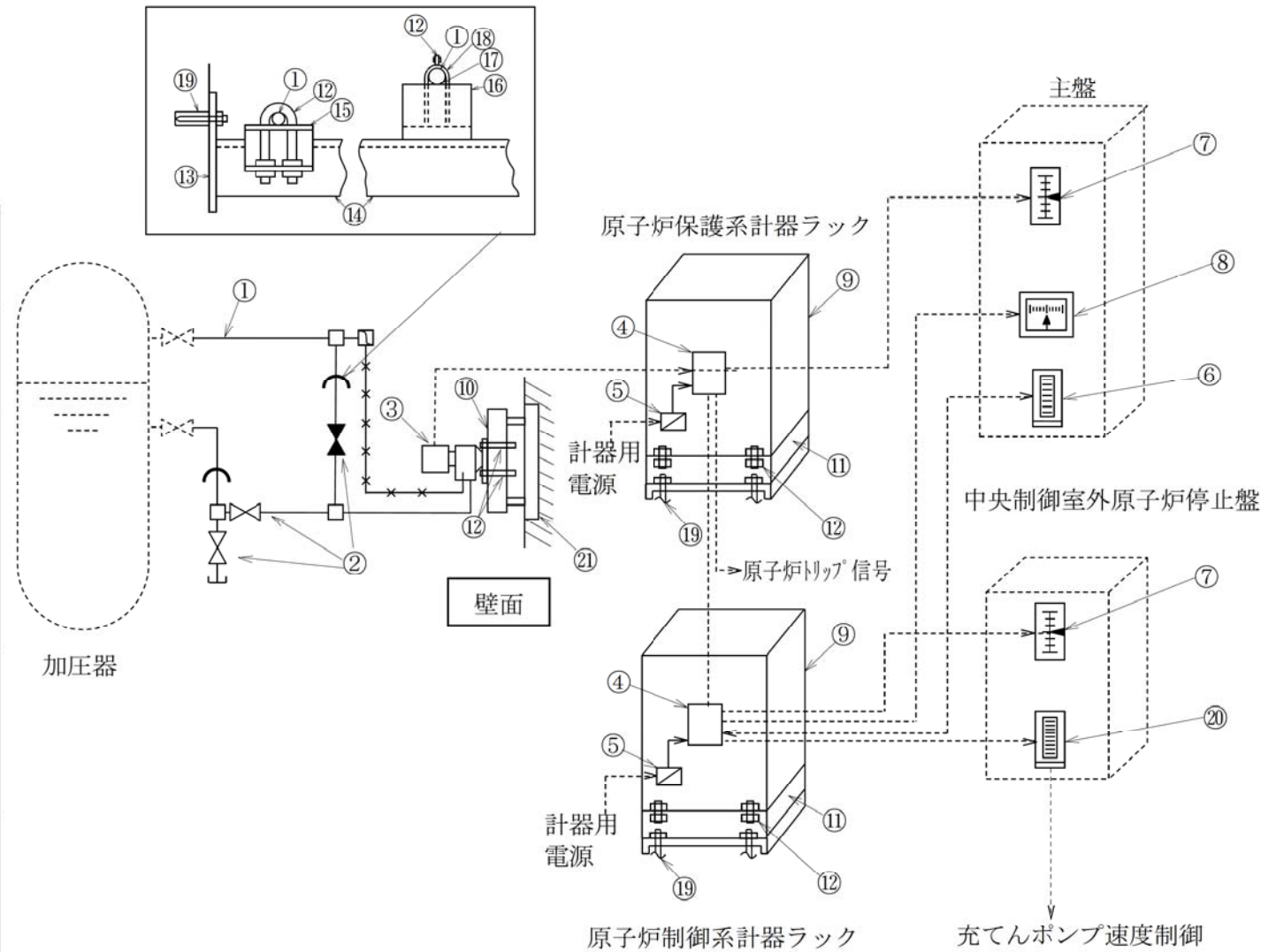


図2.1-3 泊2号炉 加圧器水位計測制御装置主要機器構成図

表2.1-5 泊2号炉 加圧器水位計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 伝達機能構成品	計装配管	ステンレス鋼	
	計器弁	ステンレス鋼	
プロセス値の 検出機能構成品	伝送器	消耗品・定期取替品	
電源供給・信号変換・演算・制御機能構成品	原子炉保護系計器ラック	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
	原子炉制御系計器ラック	電源装置	半導体
		電解コンデンサ	消耗品・定期取替品
	自動/手動操作器	半導体	
	手動操作器	半導体	
工学値への変換機能構成品	指示計	炭素鋼, プラスチック	
	記録計	半導体	
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
機器の支持機能構成品	筐体	炭素鋼	
	スタンション	炭素鋼	
	チャンネルベース	炭素鋼	
	取付ボルト	ステンレス鋼, 炭素鋼	
	ベースプレート	炭素鋼	
	サポート	炭素鋼	
	サポート台	ステンレス鋼	
	パイプハンガー	炭素鋼 (亜鉛メッキ)	
	ライナー	ステンレス鋼	
	パイプハンガークランプ	炭素鋼 (亜鉛メッキ)	
	基礎ボルト	炭素鋼	
	埋込金物	炭素鋼	

表2.1-6 泊2号炉 加圧器水位計測制御装置の主要機器の使用条件

	伝送器	信号変換処理部, 電源装置, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器	指示計, 手動操作器
	通常運転時		
設置場所	原子炉格納容器内	継電器室, 中央制御室	原子炉補助建屋
周囲温度	約43°C*1	約26°C*2	約40°C*2
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	—	—
放射線	2mGy/h*3	—	—

*1：通常運転時の原子炉格納容器内伝送器周囲の平均温度の最大実測値

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内伝送器周囲の平均線量率の最大実測値

2.1.4 1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置

(1) 構造

泊2号炉の1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置は測温抵抗体、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計及び支持構造物で構成されている。

a. 測温抵抗体

測温抵抗体は、1次冷却材の温度を抵抗値に変換し、伝送する機能を有する。

b. 信号変換処理部

信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック）は、測温抵抗体への電源供給や測温抵抗体からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

c. 電源装置

電源装置（原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

d. 指示計

指示計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック）から出力された電気信号を温度値に変換し、指示する機能を有する。

e. 記録計

記録計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック及び原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を温度値に変換し、記録する機能を有する。

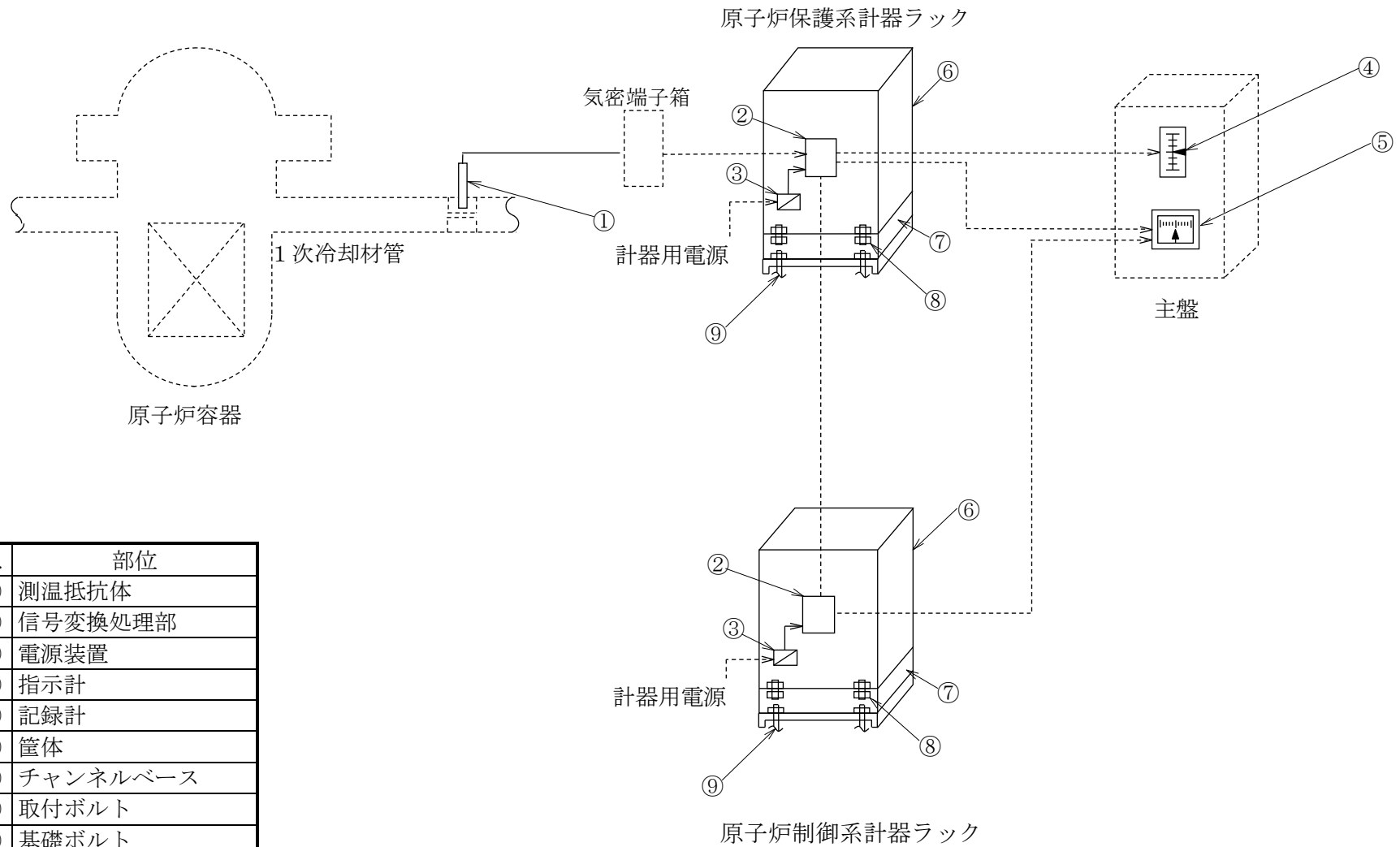
f. 支持構造物

原子炉保護系計器ラックの筐体及び原子炉制御系計器ラックはチャンネルベースに取付ボルトで据付けられており、チャンネルベースは基礎ボルトで据付けられている。

泊2号炉の1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置の主要機器の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。



No.	部位
①	测温抵抗体
②	信号変換処理部
③	電源装置
④	指示計
⑤	記録計
⑥	筐体
⑦	チャンネルベース
⑧	取付ボルト
⑨	基礎ボルト

図2.1-4 泊2号炉 1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置主要機器構成図

表 2.1-7 泊 2 号炉 1 次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 検出機能構成品	測温抵抗体	消耗品・定期取替品	
電源供給・信号変換・演算・制御機能構成品	原子炉保護系計器ラック	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
	原子炉制御系計器ラック	電源装置	半導体
		電解コンデンサ	消耗品・定期取替品
工学値への変換機能構成品	指示計	炭素鋼, プラスチック	
	記録計		半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
機器の支持機能構成品	筐体	炭素鋼	
	チャンネルベース	炭素鋼	
	取付ボルト	炭素鋼	
	基礎ボルト	炭素鋼	

表 2.1-8 泊 2 号炉 1 次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置の主要機器の使用条件

	測温抵抗体	信号変換処理部, 電源装置, 指示計, 記録計
	通常運転時	
設置場所	原子炉格納容器内 (ループ室内)	継電器室, 中央制御室
周囲温度	343°C (最高使用温度)	約26°C*1
圧力	約0.0098MPa[gage] 以下	—
放射線	290mGy/h*2	—

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常運転時の検出器周囲の平均線量率の最大実測値

2.1.5 中性子源領域中性子束計測制御装置

(1) 構造

泊2号炉の中性子源領域中性子束計測制御装置は、中性子束検出器、前置増幅器、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計及び支持構造物で構成されている。

a. 中性子束検出器

中性子束検出器は、検出器に入射した中性子束を中性子束レベルに応じた電気信号に変換する機能を有する。

b. 前置増幅器

前置増幅器（炉外核計測装置前置増幅器箱）は、中性子束検出器にて変換された電気信号を信号変換処理部（炉外核計装盤）へ伝送するために、信号を増幅する機能を有する。

c. 信号変換処理部

信号変換処理部（炉外核計装盤）は、中性子束検出器への電源供給や中性子束検出器からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

d. 電源装置

電源装置（炉外核計装盤）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

e. 指示計

指示計は、信号変換処理部（炉外核計装盤）から出力された電気信号を圧力値に変換し、指示する機能を有する。

f. 記録計

記録計は、信号変換処理部（炉外核計装盤）から出力された電気信号を圧力値に変換し、記録する機能を有する。

g. 支持構造物

炉外核計装盤の筐体は埋込金物及び基礎ボルトで据付けられている。

泊2号炉の中性子源領域中性子束計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の中性子源領域中性子束計測制御装置の主要機器の使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10に示す。

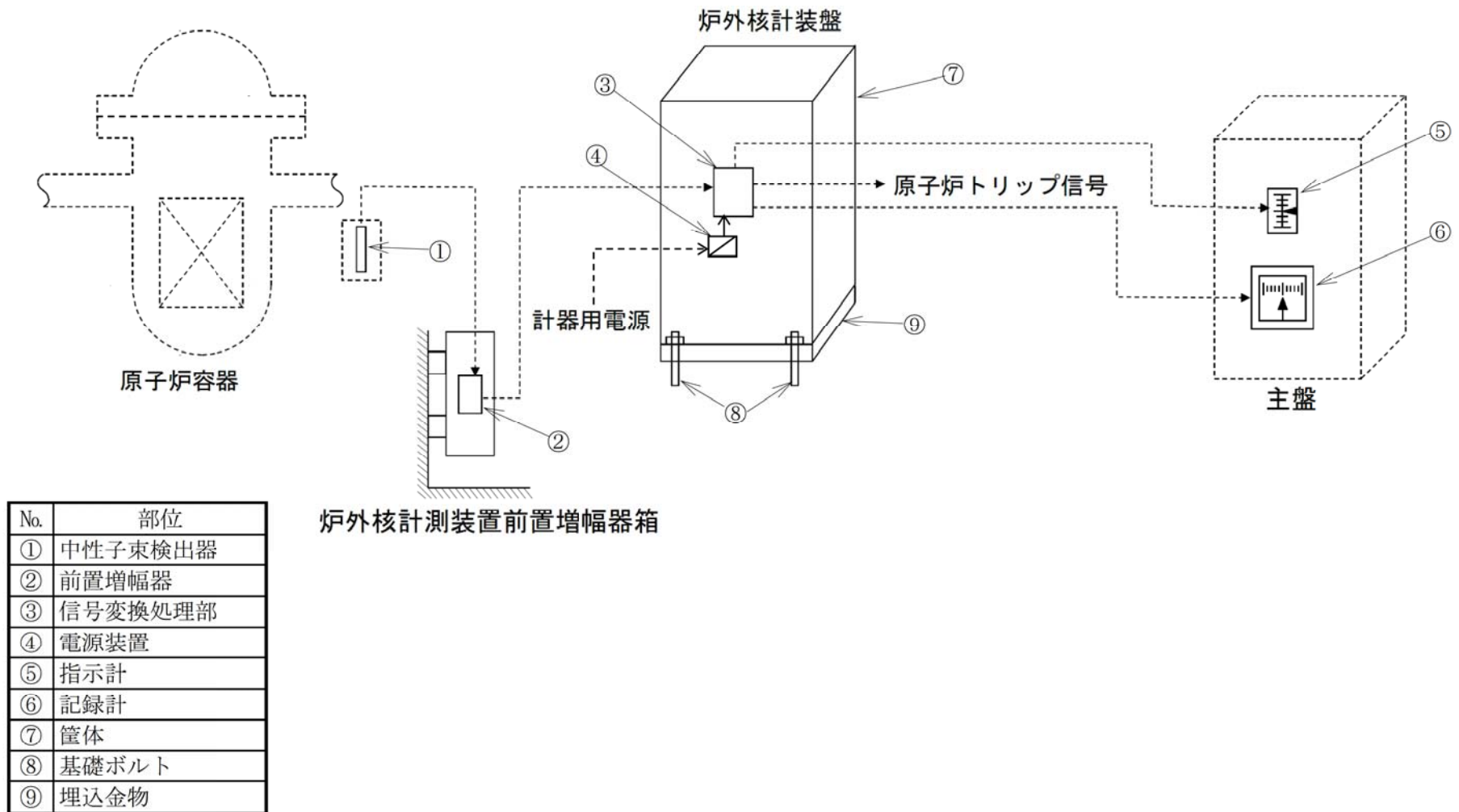


図2.1-5 泊2号炉 中性子源領域中性子束計測制御装置主要機器構成図

表2.1-9 泊2号炉 中性子源領域中性子束計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 検出機能構成品	中性子束検出器	BF ₃ 比例計数管 消耗品・定期取替品	
信号変換機能構 成品	前置増幅器		半導体
	炉外核計装盤	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
		電源装置	半導体
		電解コンデンサ	消耗品・定期取替品
工学値への 変換機能構成品	指示計		炭素鋼, プラスチック
	記録計		半導体
	ヒューズ		消耗品・定期取替品
機器の支持機能 構成品	筐体		炭素鋼
	埋込金物		炭素鋼
	基礎ボルト		炭素鋼
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼, 不飽和ポリエステル樹脂

表2.1-10 泊2号炉 中性子源領域中性子束計測制御装置の主要機器の使用条件

	中性子束検出器	信号変換処理部, 電源装置, 指示計, 記録計	前置増幅器
設置場所	原子炉格納容器内 (計測孔)	継電器室, 中央制御室	原子炉建屋
周囲温度	約33°C*1	約26°C*2	約35°C*2

*1：通常運転時の検出器周囲の平均温度の最大実測値

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

プロセス計測制御設備の機能を維持するためには、次の5つの項目が必要である。

- ① プロセス値の伝達機能の維持
- ② プロセス値の検出機能の維持
- ③ 電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持
- ④ 工学値への変換機能の維持
- ⑤ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

プロセス計測制御設備個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 1次冷却材系統に接する計装配管等の応力腐食割れ [1次冷却材圧力, 加圧器水位]

1996年5月, 米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で, 1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから, 応力腐食割れが想定される。

しかしながら, 当該部位については, SUS304系より耐応力腐食割れ性の優れているSUS316系を使用している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお, 漏えい検査により機器の健全性を確認している。

(2) 伝送器等の特性変化 [共通]

伝送器(余熱除去ライン流量), 前置増幅器, 信号変換処理部, 電源装置, 指示計, 記録計, 自動/手動操作器, 手動操作器及び電流/空気圧変換器は長期間の使用に伴い, 検出特性及び信号伝達特性が変化し, 長期間校正を実施しない場合, 実際のプロセス値に対し, 測定値及び制御値の誤差が大きくなることや, マイグレーションが想定される。

しかしながら, 信号処理・変換を行う電気回路部は定格値(定格電力・電圧・電流値)に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており, 屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく, 短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また, 製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから, マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

更に, 機器点検時の実圧又は模擬信号での校正試験・調整により, 機器の健全性を維持している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) 筐体 [共通] , スタンション, ベースプレート, サポート [1次冷却材圧力, 余熱除去ライン流量, 加圧器水位] 及びチャンネルベース [1次冷却材圧力, 余熱除去ライン流量, 加圧器水位, 1次冷却材高温側温度 (広域)] の腐食 (全面腐食)

筐体, スタンション, ベースプレート, サポート及びチャンネルベースは炭素鋼であり, 腐食が想定される。

しかしながら, 大気接触部は塗装により腐食を防止しており, 塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また, 巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し, はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより, 機器の健全性を維持している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 取付ボルトの腐食 (全面腐食) [1次冷却材圧力, 余熱除去ライン流量, 加圧器水位, 1次冷却材高温側温度 (広域)]

炭素鋼の取付ボルトについては, 腐食が想定される。

しかしながら, 大気接触部は塗装又は亜鉛メッキにより腐食を防止しており, 塗膜又はメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また, 巡視点検等で目視により塗膜又はメッキ面の状態を確認し, はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより, 機器の健全性を維持している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (5) パイプハンガー及びパイプハンガークランプ [1次冷却材圧力, 余熱除去ライン流量, 加圧器水位] の腐食 (全面腐食)

パイプハンガー及びパイプハンガークランプは炭素鋼であり, 腐食が想定される。

しかしながら, 大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており, メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また, 巡視点検等で目視によりメッキ面の状態を確認し, はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより, 機器の健全性を維持している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (6) 埋込金物（大気接触部）〔1次冷却材圧力，余熱除去ライン流量，加圧器水位，中性子源領域中性子束〕の腐食（全面腐食）
埋込金物は炭素鋼であり，腐食が想定される。
しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。
また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (7) 計装用取出配管，計器元弁，計装配管及び計器弁の外表面からの応力腐食割れ〔余熱除去ライン流量〕
余熱除去ライン流量の計装用取出配管等はステンレス鋼であり，外表面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合，塩化物イオンによる応力腐食割れが想定される。
しかしながら，周辺環境における塩分付着量を測定し，応力腐食割れに対して問題のないことを確認している。
また，余熱除去ライン流量の計装用取出配管等は屋内に設置されており，屋外に設置されている配管等と比較して環境条件は穏やかであり，大気中の海塩粒子が外表面に直接付着する可能性は小さい。
更に，巡視点検時等の目視確認により機器の健全性を維持している。
したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (8) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕及び樹脂の劣化〔中性子源領域中性子束〕
基礎ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。また，ケミカルアンカには樹脂を使用しており，劣化が想定される。
基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから，「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし，本評価書には含んでいない。

前述の2)に該当する事象のうち，日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(9) オリフィスの腐食（流れ加速型腐食）〔余熱除去ライン流量〕

オリフィスは絞り機構であり、配管部と比較して流速が速くなることから流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、余熱除去ライン流量のオリフィスはステンレス鋼であり、流速を低く設計していることから、流れ加速型腐食が発生する可能性はないと考える。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(10) オリフィスの応力腐食割れ〔余熱除去ライン流量〕

オリフィスはステンレス鋼であり、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、余熱除去ライン流量のオリフィスは、定期検査時に飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入する際は流体温度が低い（最高80℃程度）ため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は、溶存酸素濃度が5ppb以下に低減された流体となっていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(11) 埋込金物（コンクリート埋設部）〔1次冷却材圧力，余熱除去ライン，加圧器水位，中性子源領域中性子束〕の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ヒューズ，電解コンデンサ，中性子束検出器，1次冷却材圧力及び加圧器水位の伝送器並びに測温抵抗体については定期取替品である。いずれも，長期使用はせず取替を前提としていることから，高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

なお，記録計のヒューズについては，容易に修復が可能であることから，事後保全としている。

表2.2-1(1/5) 泊2号炉 1次冷却材圧力計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
プロセス値の伝達機能の維持	計装用取出配管, 計器元弁, 計装配管, 計器弁		ステンレス鋼				△*1					*1:内面からの応力腐食割れ *2:大気接触部の腐食 *3:コンクリート埋設部の腐食
プロセス値の検出機能の維持	伝送器	◎	—									
電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持	信号変換処理部		半導体							△		
	ヒューズ	◎	—									
	電源装置		半導体							△		
	電解コンデンサ	◎	—									
工学値への変換機能の維持	指示計		炭素鋼, プラスチック							△		
	記録計		半導体							△		
	ヒューズ	◎	—									
機器の支持	筐体, スタンション, チャンネルベース		炭素鋼		△							
	取付ボルト		ステンレス鋼, 炭素鋼		△							
	ベースプレート, サポート		炭素鋼		△							
	パイプハンガー, パイプハンガークランプ		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△							
	サポート台, ライナー		ステンレス鋼									
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△*2 ▲*3							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/5) 泊2号炉 余熱除去ライン流量計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性特性変化		
プロセス値の伝達機能の維持	オリフィス 注)		ステンレス鋼		▲*1		▲				*1: 流れ加速型腐食 *2: 外面からの応力腐食割れ *3: 大気接触部の腐食 *4: コンクリート埋設部の腐食	
	計装用取出配管, 計器元弁, 計装配管, 計器弁		ステンレス鋼				△*2					
プロセス値の検出機能の維持	伝送器		アルミニウム合金鋳物, ステンレス鋼, 半導体						△			
電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持	信号変換処理部		半導体						△			
	ヒューズ	◎	—									
	電源装置		半導体						△			
	電解コンデンサ	◎	—									
	自動/手動操作器		半導体						△			
	手動操作器		半導体						△			
工学値への変換機能の維持	電流/空気圧変換器		コイル, コントローラリレー						△			
	指示計		炭素鋼, プラスチック						△			
	記録計		半導体						△			
機器の支持	ヒューズ	◎	—									
	筐体, スタクション, チャンネルベース		炭素鋼		△							
	取付ボルト		ステンレス鋼, 炭素鋼		△							
	ベースプレート, サポート		炭素鋼		△							
	パイプハンガー, パイプハンガークランプ		炭素鋼(亜鉛メッキ)		△							
	サポート台, ライナー		ステンレス鋼									
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
埋込金物		炭素鋼		△*3 ▲*4								

△: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象)

▲: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象以外)

注) オリフィスはプロセス値の伝達機能に加えて、パウンダリ機能をあわせもっており、両者を含めた評価とする。

表2.2-1(3/5) 泊2号炉 加圧器水位計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
プロセス値の伝達機能の維持	計器元弁, 計装配管, 計器弁		ステンレス鋼				△*1					*1: 内面からの応力腐食割れ *2: 大気接触部の腐食 *3: コンクリート埋設部の腐食
プロセス値の検出機能の維持	伝送器	◎	—									
電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持	信号変換処理部		半導体							△		
	ヒューズ	◎	—									
	電源装置		半導体							△		
	電解コンデンサ	◎	—									
	自動/手動操作器		半導体							△		
	手動操作器		半導体							△		
工学値への変換機能の維持	指示計		炭素鋼, プラスチック							△		
	記録計		半導体							△		
	ヒューズ	◎	—									
機器の支持	筐体, スタンション, チャンネルベース		炭素鋼		△							
	取付ボルト		ステンレス鋼, 炭素鋼		△							
	ベースプレート, サポート		炭素鋼		△							
	パイプハンガー, パイプハンガークランプ		炭素鋼(亜鉛メッキ)		△							
	サポート台, ライナー		ステンレス鋼									
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ ▲*3							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(4/5) 泊2号炉 1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
プロセス値の検出機能の維持	测温抵抗体	◎	—									
電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持	信号変換処理部		半導体								△	
	ヒューズ	◎	—									
	電源装置		半導体								△	
	電解コンデンサ	◎	—									
工学値への変換機能の維持	指示計		炭素鋼, プラスチック								△	
	記録計		半導体								△	
	ヒューズ	◎	—									
機器の支持	管体		炭素鋼		△							
	チャンネルベース		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 泊2号炉 中性子源領域中性子束計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考		
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化			
プロセス値の検出機能の維持	中性子束検出器	◎	—									*1: 大気接触部の腐食	
信号変換機能の維持	前置増幅器		半導体								△	*2: コンクリート埋設部の腐食	
	信号変換処理部	ヒューズ	◎	—								*3: 樹脂の劣化	
		電源装置		半導体								△	
		電解コンデンサ	◎	—									
工学値への変換機能の維持	指示計		炭素鋼, プラスチック									△	
	記録計		半導体									△	
		ヒューズ	◎	—									
機器の支持	筐体		炭素鋼		△								
	埋込金物		炭素鋼		△*1 ▲*2								
	基礎ボルト		炭素鋼		△								
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼, 不飽和ポリエステル樹脂		△							△*3	

△: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象)

▲: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象以外)

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

[圧力]

- ① 加圧器圧力
- ② 制御用空気ヘッダ圧力
- ③ 原子炉補機冷却海水供給母管圧力

[水位]

- ① ほう酸タンク水位
- ② 格納容器再循環サンプル水位
- ③ 蒸気発生器水位（狭域）
- ④ 原子炉補機冷却水サージタンク水位
- ⑤ 燃料取替用水タンク水位

[温度]

- ① 1次冷却材低温側温度（広域）

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.1.1 1次冷却材系統に接する計装配管等の応力腐食割れ [加圧器圧力]

1996年5月、米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で、1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、当該部位については、SUS304系より耐応力腐食割れ性の優れているSUS316系を使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、漏えい検査により機器の健全性を確認している。

3.1.2 伝送器等の特性変化 [共通]

伝送器（加圧器圧力、格納容器再循環サンプ水位、蒸気発生器水位（狭域）を除く）、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計、自動／手動操作器、手動操作器及び電流／空気圧変換器は、長期間の使用に伴い、検出特性及び信号伝達特性が変化し、長期間校正を実施しない場合、実際のプロセス値に対し、測定値及び制御値の誤差が大きくなることや、マイグレーションが想定される。

しかしながら、信号処理・変換を行う電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流値）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内又は筐体内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また、製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の実圧又は模擬信号での校正試験・調整により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 筐体、スタンション、ベースプレート、サポート及びチャンネルベースの腐食
(全面腐食) [共通]

筐体、スタンション、ベースプレート、サポート及びチャンネルベースは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 取付ボルトの腐食 (全面腐食) [共通]

炭素鋼の取付ボルトについては、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装又は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜又はメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜又はメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.5 パイプハンガー及びパイプハンガーランプの腐食 (全面腐食) [1次冷却材低温側温度 (広域) を除いて共通]

パイプハンガー及びパイプハンガーランプは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視によりメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.6 計装用取出配管（炭素鋼）の内面からの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却海水供給母管圧力〕

原子炉補機冷却海水供給母管圧力の計装用取出配管は炭素鋼であり、海水が接するため、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内面にライニングを施工しており、ライニングが健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、系統の弁分解点検時等に目視確認を実施し、ライニングの健全性を確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.7 計装用取出配管及び計器元弁（炭素鋼、銅合金又は銅合金鋳物）の外側からの腐食（全面腐食）〔制御用空気ヘッダ圧力、原子炉補機冷却海水供給母管圧力、原子炉補機冷却水サージタンク水位〕

炭素鋼、銅合金又は銅合金鋳物の計装用取出配管及び計器元弁は外側からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.8 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却海水供給母管圧力及び1次冷却材低温側温度（広域）を除いて共通〕

炭素鋼の埋込金物については、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.9 計装用取出配管, 計器元弁, 計装配管及び計器弁の外面からの応力腐食割れ [計装用取出配管, 計器元弁, 計装配管及び計器弁がステンレス鋼の伝送器 (原子炉格納容器内を除く屋内設置分)]

伝送器の計装用取出配管等はステンレス鋼であり, 原子炉格納容器内設置分を除いて, 外表面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合, 塩化物イオンによる応力腐食割れが想定される。

しかしながら, 周辺環境における塩分付着量を測定し, 応力腐食割れに対して問題のないことを確認している。

また, 屋内に設置されている計装用取出配管等については, 屋外に設置されている配管等と比較して環境条件は穏やかであり, 大気中の海塩粒子が外表面に直接付着する可能性は小さい。

更に, 巡視点検時等の目視確認により機器の健全性を維持している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.10 基礎ボルトの腐食 (全面腐食) [基礎ボルトを含む機器共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから, 「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし, 本評価書には含んでいない。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

- 3.1.11 計装用取出配管，計器元弁，計装配管及び計器弁（炭素鋼，銅合金又は銅合金鋳物）の内面からの腐食（全面腐食）〔制御用空気ヘッダ圧力，原子炉補機冷却海水供給母管圧力，原子炉補機冷却水サージタンク水位〕

制御用空気ヘッダ圧力及び原子炉補機冷却水サージタンク水位の計装用取出配管等は炭素鋼であり，内面からの腐食が想定される。

しかしながら，内部流体が制御用空気又は窒素ガスであり，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また，原子炉補機冷却海水供給母管圧力に使用している計装用取出配管等は銅合金又は銅合金鋳物であり，内面からの腐食が想定される。

しかしながら，計装用取出配管等に使用している銅合金又は銅合金鋳物は耐食性がよく，腐食が発生しがたい環境にある。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- 3.2.12 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却海水供給母管圧力及び1次冷却材低温側温度（広域）を除いて共通〕

埋込金物は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが，コンクリートが中性化に至り，埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2 制御設備

[対象分類]

- ① リレーラック
- ② 監視・操作盤
- ③ 制御盤

目次

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造, 材料及び使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	13
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	21
3. 代表機器以外への展開	28
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	29
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	30

1. 技術評価対象機器及び代表機器の選定

泊 2 号炉で使用されている制御設備の主な仕様を表1-1に示す。

これらの制御設備を機能の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す制御設備について、機能を分離基準として考えると、合計3つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

制御設備は、検出回路、ロジック回路等の機器の組合せにより構成されている。使用されている各構成機器は、設備の持つ機能に依存せず、構造、材料、使用条件等が同等であることから、経年劣化に対する健全性評価は、構成機器単位で実施する。そのため、主要な構成機器の組合せを考慮し、各構成機器が評価されるように代表機器を選定した。

(1) リレーラック

このグループには、原子炉安全保護盤、安全保護系シーケンスキャビネット及び安全保護系補助リレーラックが属するが、主要構成機器の観点から、原子炉安全保護盤を代表機器とする。

(2) 監視・操作盤

このグループには、主盤、換気空調盤、所内盤等が属するが、重要な機器の監視及び操作を行う主盤を代表機器とする。

(3) 制御盤

このグループには、ディーゼル発電機制御盤、充てんポンプ速度制御盤・補助盤、制御用空気圧縮機盤等が属するが、主要構成機器の観点から、ディーゼル発電機制御盤を代表機器とする。

表1-1 (1/2) 泊2号炉 制御設備の主な仕様

分離基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
リレーラック	原子炉安全保護盤 (2)	—	補助リレー, 半導体基板	操作スイッチ	—	—	電源装置, ヒューズ	MS-1	◎	主要構成機器
	安全保護系シーケンスキャビネット (4)	—	補助リレー, タイマ	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2	MS-1		
	安全保護系補助リレーラック (8)	—	補助リレー, タイマ	—	—	—	NFB*2	MS-1		
監視・操作盤	主盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯, 故障表示器	—	NFB*2	MS-1	◎	重要機器の監視及び操作を行う
	原子炉補助盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯, 故障表示器	—	NFB*2	MS-1		
	換気空調盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯, 故障表示器	—	NFB*2	MS-1		
	中央制御室外原子炉停止盤 (4)	—	—	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2	MS-2		
	所内盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯, 故障表示器, 指示計	—	NFB*2	MS-1		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: ノーヒューズブレーカ。

表1-1 (2/2) 泊2号炉 制御設備の主な仕様

分離基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
制御盤	ディーゼル発電機制御盤 (12)	励磁装置, 保護継電器 (静止形), 計器用変圧器, 計器用変流器, 電磁ピックアップ	電圧調整装置, 電圧設定器, 回転数検出装置, 補助リレー, タイマ, ヒューズ	操作スイッチ, ロックアウトリレー	表示灯, 指示計, 故障表示器	電磁接触器, シリコン整流器	NFB*2	MS-1	◎	主要構成機器
	充てんポンプ速度制御盤・補助盤 (3)	—	速度制御装置, タイマ	速度設定器, 操作スイッチ	指示計	—	NFB*2, 変圧器, ヒューズ	MS-1		
	制御用空気圧縮機盤 (2)	—	補助リレー, タイマ, 調節計	—	—	整流器	NFB*2, 変圧器	MS-1		
	空調用冷凍機制御盤 (4)	温度スイッチ, 電流変換器	補助リレー, タイマ, 調節計	—	指示計	—	NFB*2, 変圧器	MS-1		
	1次冷却材ポンプ母線計測盤 (2)	保護継電器 (静止形), 計器用変圧器	補助リレー, タイマ	—	—	—	ヒューズ	MS-1		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: ノーヒューズブレーカ。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の制御設備について技術評価を実施する。

- ① 原子炉安全保護盤
- ② 主盤
- ③ ディーゼル発電機制御盤

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 原子炉安全保護盤

(1) 構造

泊2号炉の原子炉安全保護盤は, A, Bトレン各1面設置されており, 補助リレー等の主要構成機器及び機器を支持するための筐体, 埋込金物から構成されている。

原子炉安全保護盤は, 原子炉保護系計器ラック等より出力された電気信号を入力とし, 論理回路を構成し, 原子炉を停止するための原子炉トリップ信号を出力する装置である。

泊2号炉の原子炉安全保護盤の主要機器構成図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の原子炉安全保護盤の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

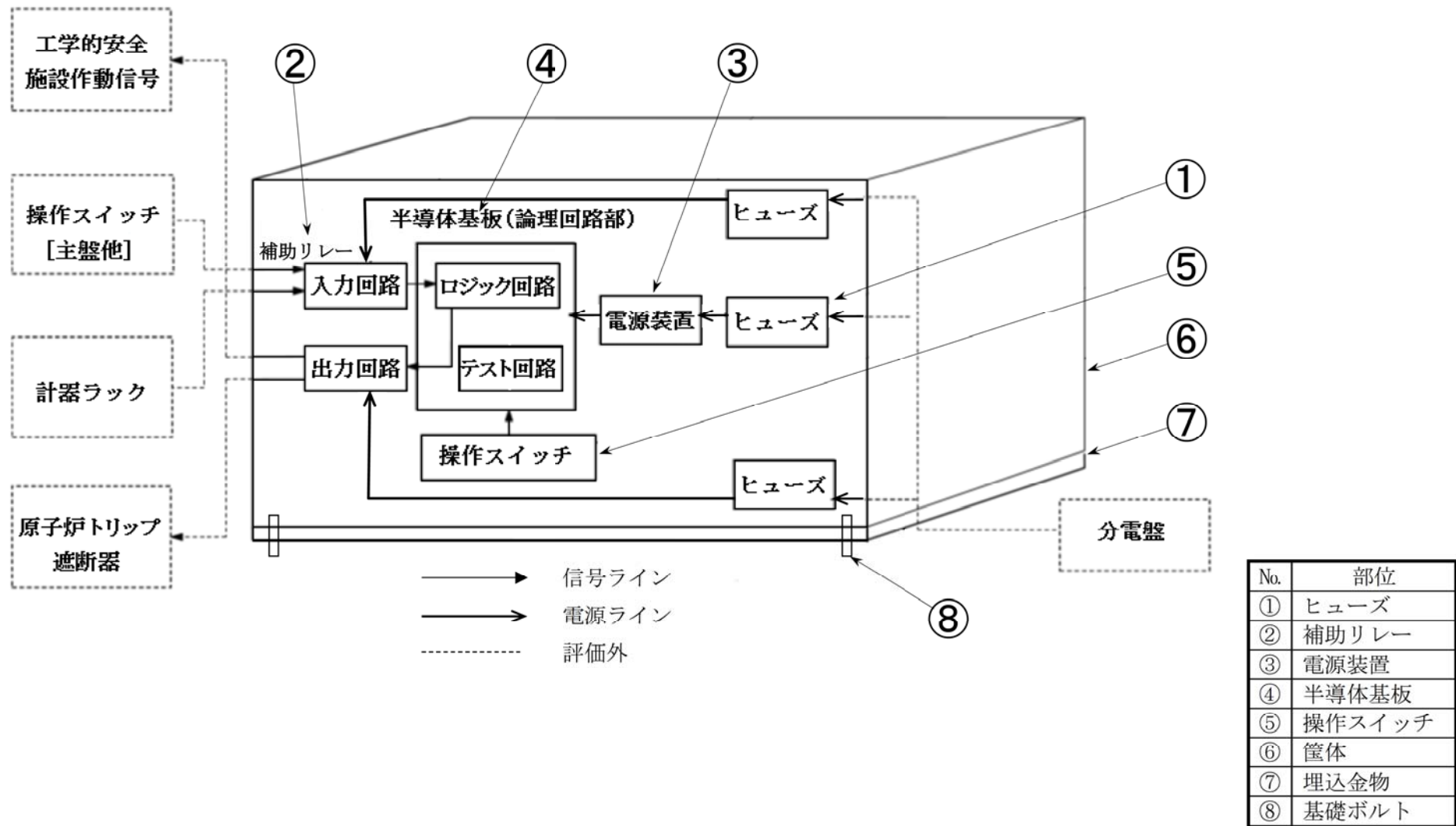


図2.1-1 泊2号炉 原子炉安全保護盤の主要機器構成図

表2.1-1 泊2号炉 原子炉安全保護盤主要部位の使用材料

部位		材料
主要構成機器	ヒューズ	消耗品・定期取替品
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	電源装置	半導体
	電解コンデンサ	消耗品・定期取替品
	半導体基板	半導体
	操作スイッチ	銅, 銀
支持構造物	筐体	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 泊2号炉 原子炉安全保護盤の使用条件

使用温度	約26℃*1
設置場所	継電器室
制御電源	DC125V

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.1.2 主盤

(1) 構造

泊2号炉の主盤は、操作スイッチ等の主要構成機器及び機器を支持するための筐体、埋込金物から構成されている。

主盤は、プロセスを監視するための指示計、記録計、表示灯及び故障表示器を有しており、操作スイッチ等により制御信号を操作する装置である。

泊2号炉の主盤の主要機器構成図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉の主盤の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。

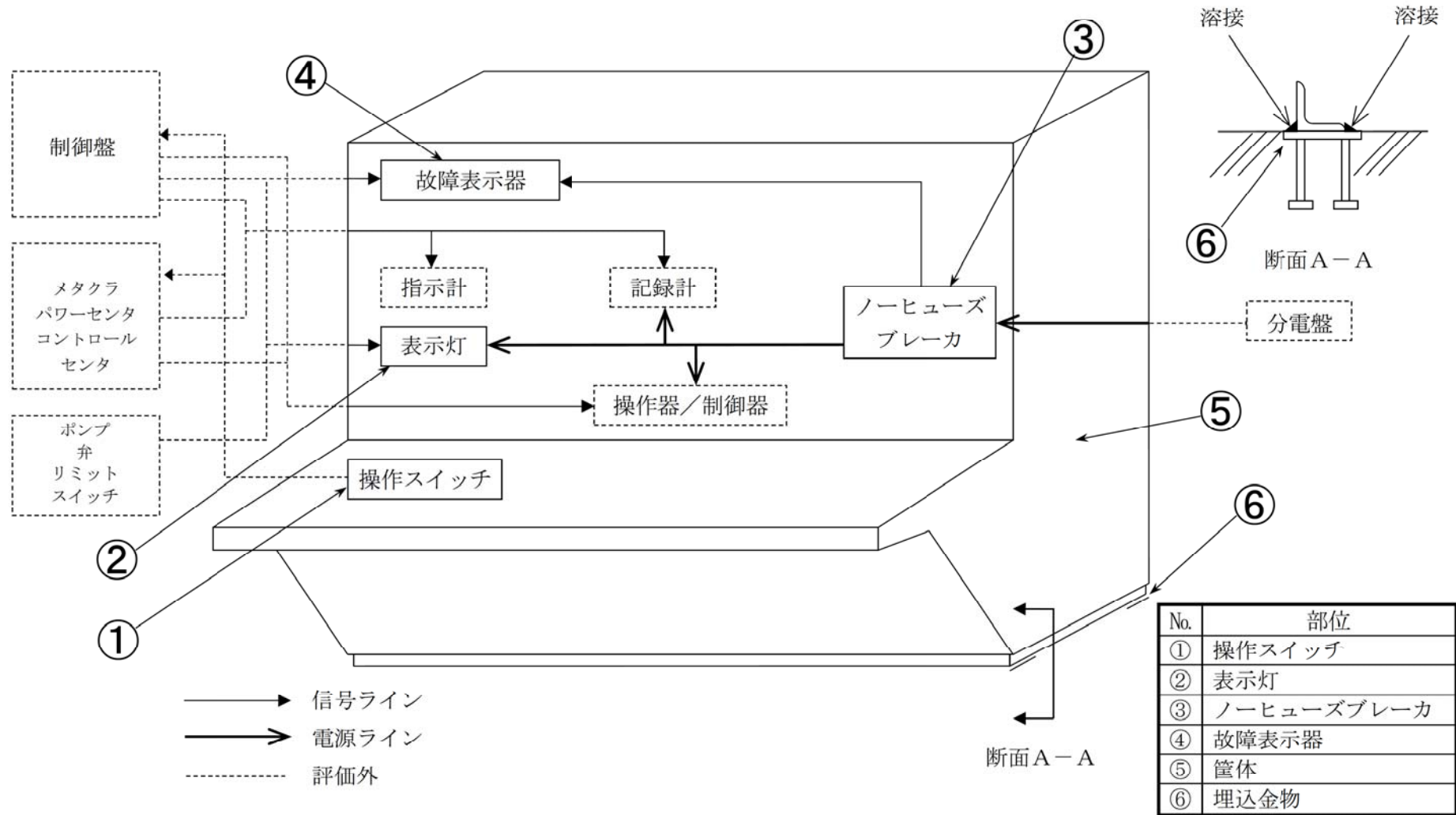


図2.1-2 泊2号炉 主盤の主要機器構成図

表2.1-3 泊2号炉 主盤主要部位の使用材料

部位		材料
主要構成機器	操作スイッチ	銅, 銀
	表示灯	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	故障表示器	消耗品・定期取替品
支持構造物	筐体	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-4 泊2号炉 主盤の使用条件

使用温度	約26°C*1
設置場所	中央制御室
制御電源	DC125V/AC100V

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.1.3 ディーゼル発電機制御盤

(1) 構造

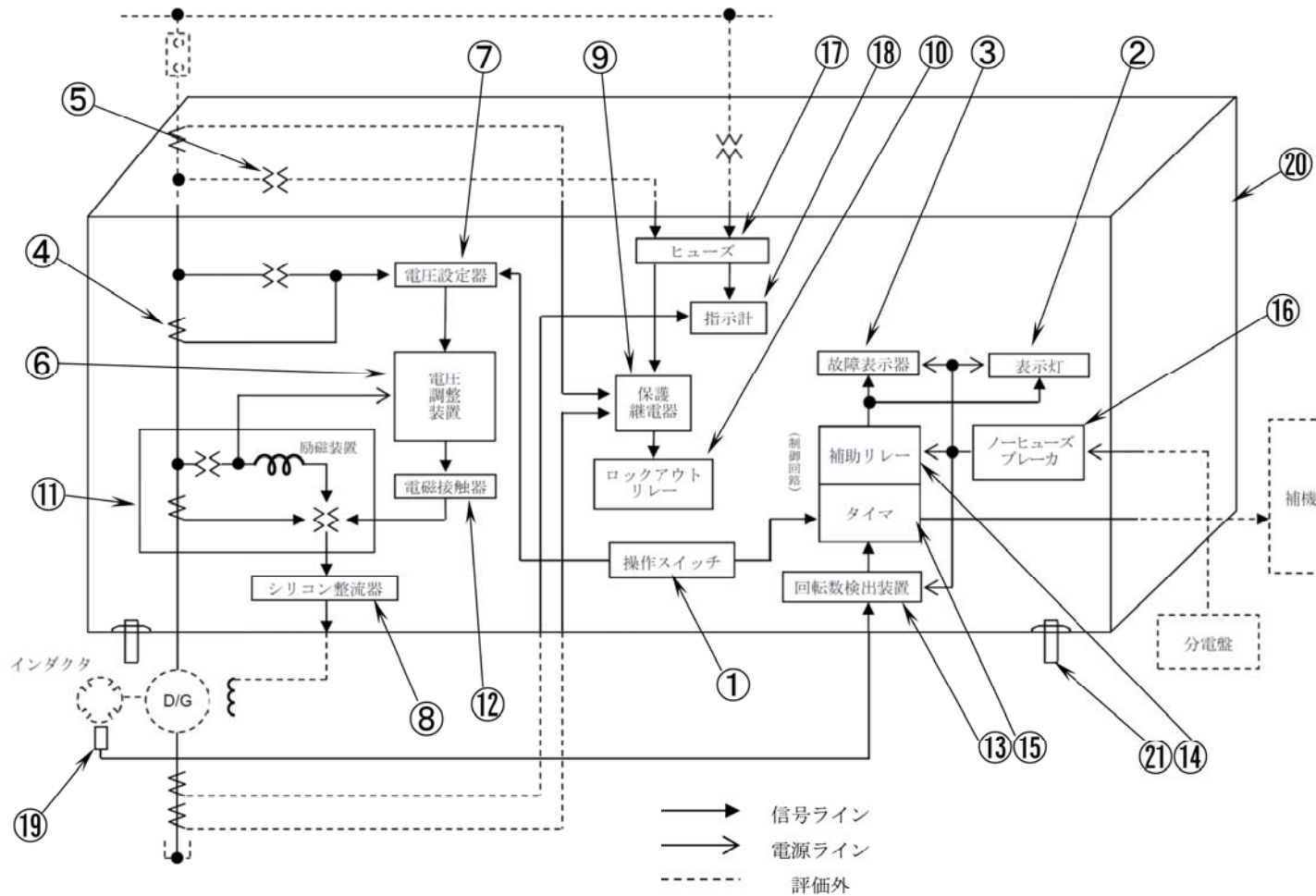
泊2号炉のディーゼル発電機制御盤は、A、Bトレン各6面設置されており、励磁装置等の主要構成機器及び機器を支持するための筐体、基礎ボルトから構成されている。

ディーゼル発電機制御盤は、発電所安全系電源が喪失した際にディーゼル発電機を自動起動し、必要な機器への安定した電源供給を制御する装置である。

泊2号炉のディーゼル発電機制御盤の主要機器構成図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

泊2号炉のディーゼル発電機制御盤の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部位
①	操作スイッチ
②	表示灯
③	故障表示器
④	計器用変圧器
⑤	計器用変圧器
⑥	电压調整装置
⑦	电压設定器
⑧	シリコン整流器
⑨	保護継電器 (静止形)
⑩	ロックアウトリレー
⑪	励磁装置
⑫	電磁接触器
⑬	回転数検出装置
⑭	補助リレー
⑮	タイマ
⑯	ノーヒューズブレーカ
⑰	ヒューズ
⑱	指示計
⑲	電磁ピックアップ
⑳	筐体
㉑	基礎ボルト

図2.1-3 泊2号炉 ディーゼル発電機制御盤の主要機器構成図

表2.1-5 泊2号炉 ディーゼル発電機制御盤主要部位の使用材料

	部位	材料
主要構成機器	操作スイッチ	銅, 銀
	表示灯	消耗品・定期取替品
	故障表示器	消耗品・定期取替品
	計器用変流器	銅線, ポリオレフィンゴム (A種絶縁)
	計器用変圧器	銅線, エポキシ樹脂 (A種絶縁)
	電圧調整装置	半導体, 可変抵抗器
	電圧設定器	小型直流モータ
	シリコン整流器	半導体
	保護継電器 (静止形)	消耗品・定期取替品
	ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品
	励磁装置	銅線, 珪素鋼板, アラミド紙 (H種絶縁)
	電磁接触器	消耗品・定期取替品
	回転数検出装置	半導体, リレー
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	ヒューズ	消耗品・定期取替品
	指示計	消耗品・定期取替品
電磁ピックアップ	銅線, ステンレス鋼	
支持構造物	筐体	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-6 泊2号炉 ディーゼル発電機制御盤の使用条件

使用温度	約40℃*1
設置場所	ディーゼル発電機制御盤室
制御電源	DC125V/AC100V

*1: 原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

制御設備の機能である信号の検出，変換，支持機能を維持するためには，以下の項目が必要である。

- ① 機器の制御・保護・監視・操作機能の維持
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

制御設備個々について，機能達成に必要な項目を考慮して，主要な構成品の構造，材料，使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し，表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては，以下の事象がある。

(1) 計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁物は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性があることから，経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 励磁装置の絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

励磁装置の絶縁物は有機物であり，熱的，電氣的，環境的要因で経年劣化が進行し，絶縁性能の低下を起こす可能性があることから，経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

- (1) 電源装置、半導体基板〔原子炉安全保護盤〕、電圧調整装置及び回転数検出装置〔ディーゼル発電機制御盤〕の特性変化

半導体基板等は長期間の使用に伴い、入出力特性の変化やマイグレーションが想定される。

しかしながら、半導体基板等を構成している電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また、製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

更に、機器点検時の調整試験及び動作試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 操作スイッチの導通不良 [共通]

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器の動作確認により機器の健全性を確認している。

(3) 電圧設定器の特性変化 [ディーゼル発電機制御盤]

電圧設定器の小型直流モータは、ブラシの摩耗に伴う接触圧の低下による出力特性の変化が想定される。

しかしながら、ディーゼル発電機の起動回数は月に2～3回程度と少なく、その動作時間も約60秒/回と短いため、ブラシの摩耗に伴う接触圧の低下により、出力特性が変化する可能性は小さい。

また、機器点検時にブラシの摩耗量を測定し、有意な摩耗がないことを確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) シリコン整流器の特性変化 [ディーゼル発電機制御盤]

シリコン整流器のシリコン整流素子は、長期間の使用に伴い、熱により空乏層が変化し、漏れ電流が増加することによる特性変化が想定される。

しかしながら、使用電流値と比べて一定の裕度を持つ定格の素子を使用することで、発熱を低減するとともに、放熱板で冷却することによりシリコン整流素子の温度を一定温度以下に保つように設計しており、特性が急激に変化する可能性は小さい。

また、機器点検時の出力電圧特性に影響する漏れ電流の測定により、漏れ電流に有意な変化がないことを確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 筐体の腐食（全面腐食）〔共通〕

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 埋込金物の腐食（大気接触部）（全面腐食）〔原子炉安全保護盤，主盤〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 電磁ピックアップの絶縁低下〔ディーゼル発電機制御盤〕

電磁ピックアップのコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、ディーゼル発電機の運転時間は短いことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、また、定格運転時のコイルの最大温度90℃に対して、コイルの許容最高温度は200℃と十分余裕を持った耐熱性を有していること、更に、定格運転時に発生する電圧は8.5Vであり、コイルの絶縁耐力600Vに対して十分低いことから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

また、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔原子炉安全保護盤，ディーゼル発電機制御盤〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

- (9) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）〔原子炉安全保護盤，主盤〕
埋込金物は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが，コンクリートが中性化に至り，埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

補助リレー，表示灯，ノーヒューズブレーカ，故障表示器，保護継電器（静止形），ロックアウトリレー，電磁接触器，タイマ及び指示計は動作確認の結果に基づき取替える消耗品であり，ヒューズ及び電解コンデンサは定期取替品であるため，長期使用はせず取替を前提としていることから，高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/3) 泊2号炉 原子炉安全保護盤に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部品	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の制御・保護・監視・操作機能の維持	ヒューズ	◎	—									*1: 大気接触部の腐食 *2: コンクリート埋設部の腐食
	補助リレー	◎	—									
	電源装置		半導体							△		
	電解コンデンサ	◎	—									
	操作スイッチ		銅, 銀						△			
	半導体基板		半導体							△		
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1 (2/3) 泊2号炉 主盤に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部品	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の制御・保護・監視・操作機能の維持	操作スイッチ		銅, 銀							△		*1: 大気接触部の腐食 *2: コンクリート埋設部の腐食
	表示灯	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎	—									
	故障表示器	◎	—									
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/3) 泊2号炉 ディーゼル発電機制御盤に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部品	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の制御・保護・監視・操作機能の維持	操作スイッチ		銅, 銀						△			
	表示灯	◎	—									
	故障表示器	◎	—									
	計器用変流器		銅線, ポリオレフィンゴム					○				
	計器用変圧器		銅線, エポキシ樹脂					○				
	電圧調整装置		半導体, 可変抵抗器							△		
	電圧設定器		小型直流モータ							△		
	シリコン整流器		半導体							△		
	保護継電器 (静止形)	◎	—									
	ロックアウトリレー	◎	—									
	励磁装置		銅線, 珪素鋼板, アラミド紙					○				
	電磁接触器	◎	—									
	回転数検出装置		半導体, リレー							△		
	補助リレー	◎	—									
	タイマ	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎	—									
	ヒューズ	◎	—									
指示計	◎	—										
電磁ピックアップ			銅線, ステンレス鋼					△				
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

a. 事象の説明

計器用変流器及び計器用変圧器は、熱的、電氣的、環境的要因で経年的変化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下については、絶縁物内の微小欠陥における部分放電の長期継続により絶縁物の劣化の形で進行し、最終的に絶縁破壊に至ることから、電気特性試験における部分放電消滅電圧及び部分放電電荷量の測定結果を、「電気学会 電気規格調査会標準規格 計器用変成器（保護継電器用）（JEC-1201-1996）」、「日本工業規格 計器用変成器-（標準用及び一般計測用）第1部：変流器（JIS C 1731-1:1998）」及び「日本工業規格 計器用変成器-（標準用及び一般計測用）第2部：計器用変圧器（JIS C 1731-2:1998）」に基づく基準値と比較することにより、絶縁性能状態を把握する。

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下に関する健全性評価として、2001年に電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」を実施した。

図2.3-1に示すように、60年相当の課電劣化試験^{*1}及び熱サイクル試験^{*2}による健全性調査の結果、部分放電消滅電圧が数台については劣化傾向を示したものの劣化の程度は緩やかであり、かつ基準値以上であること、また、部分放電電荷量は測定限界値以下であり増加傾向は認められないことから、絶縁性能に問題のないことを確認している。

*1：課電電圧の上昇及び下降の繰返しによる絶縁劣化を、メーカー独自の寿命評価手法による試験電圧及び試験周波数により加速劣化させる試験

*2：0℃～80℃～0℃で通年（1年間）の温度上昇及び下降による熱応力の機械的ストレスを模擬した試験

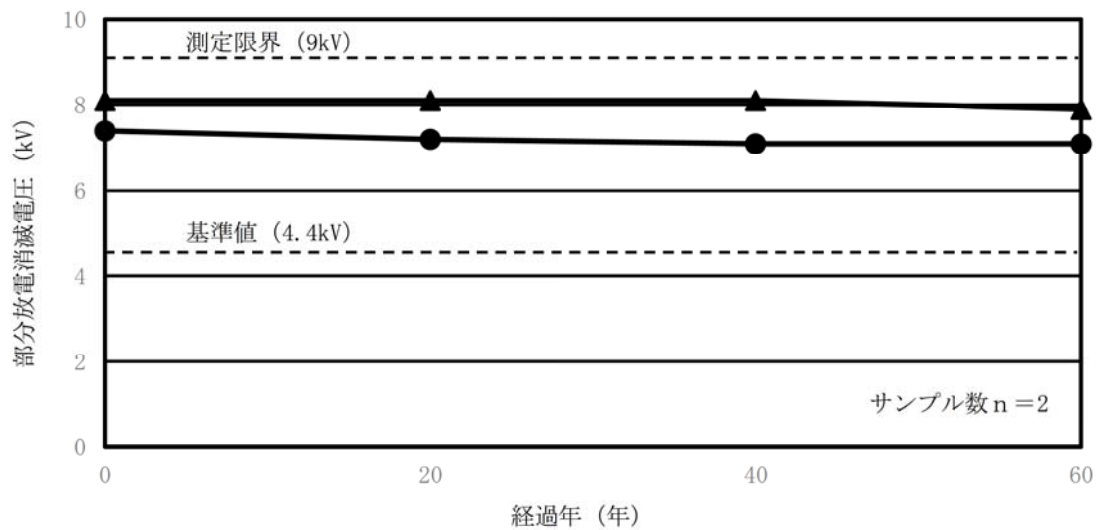


図2.3-1a 計器用変圧器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

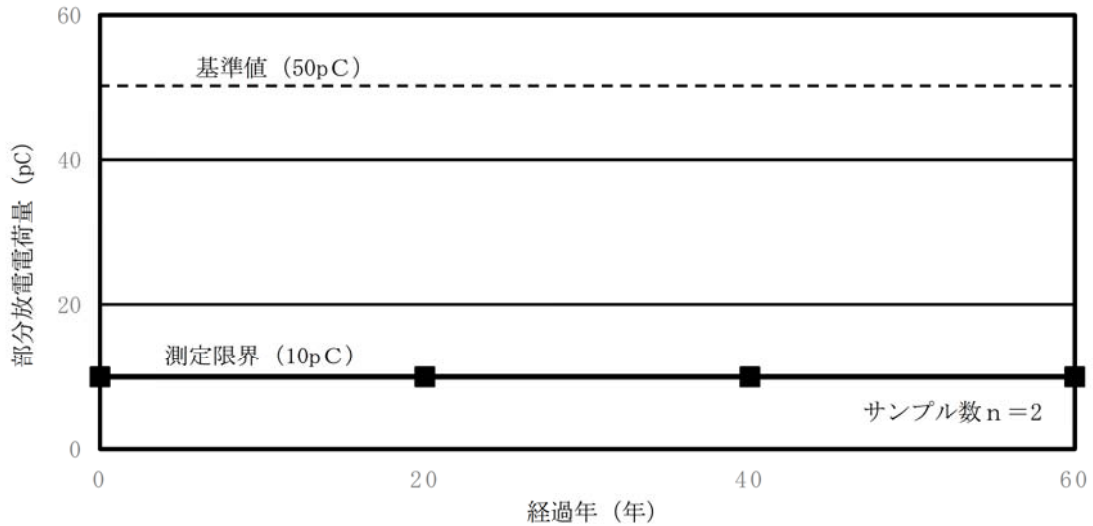


図2.3-1b 計器用変圧器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

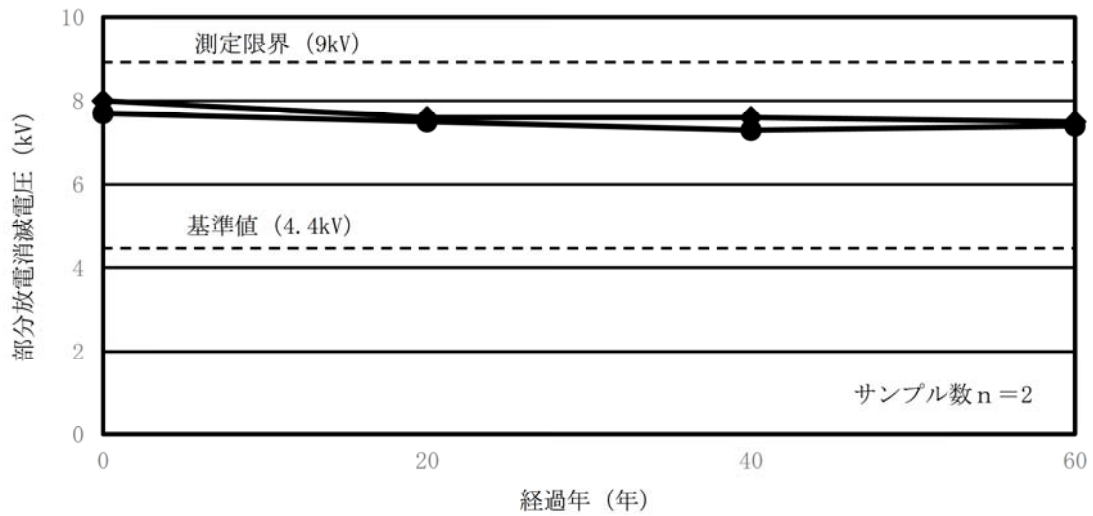


図2.3-1c 計器用変圧器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

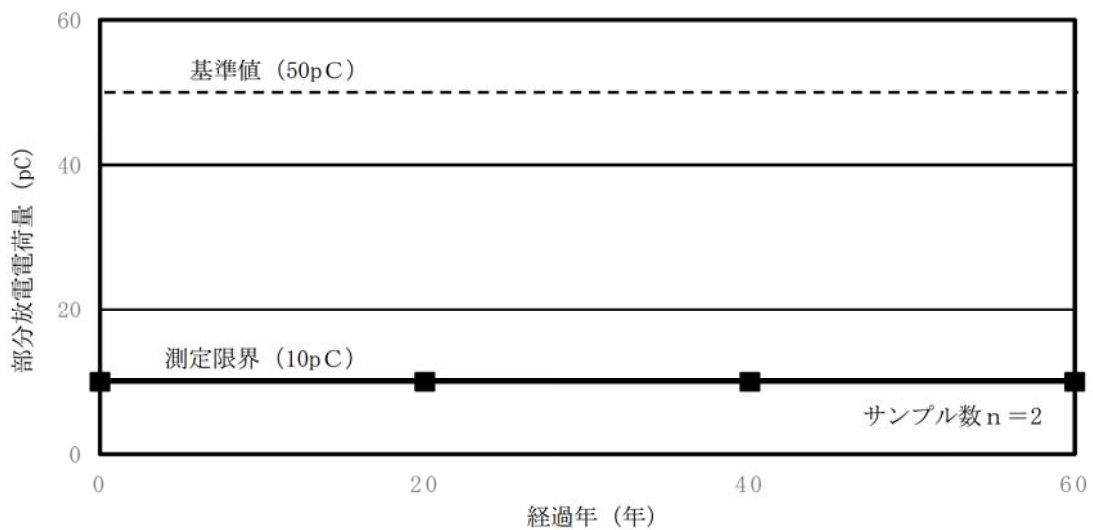


図2.3-1d 計器用変圧器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

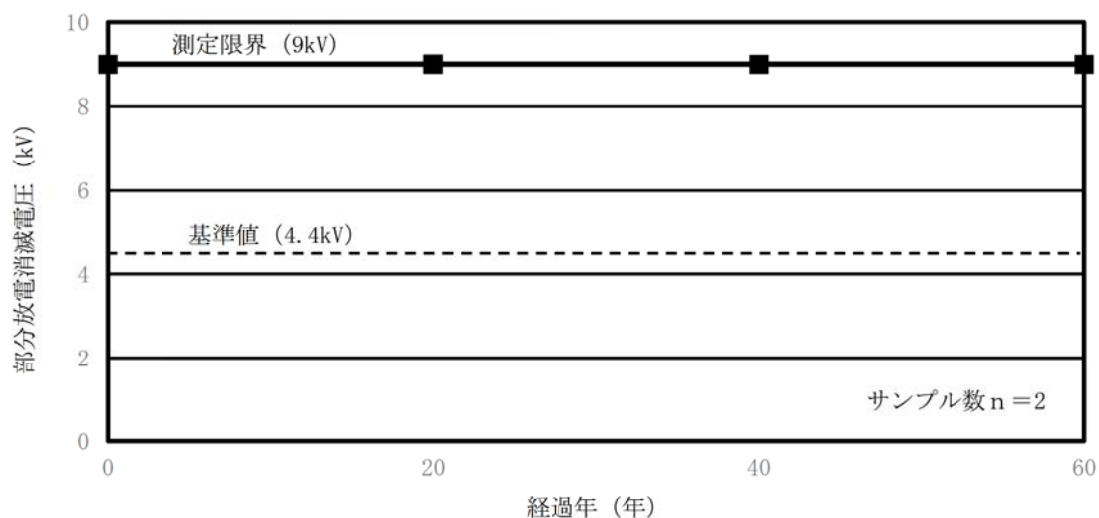


図2.3-1e 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

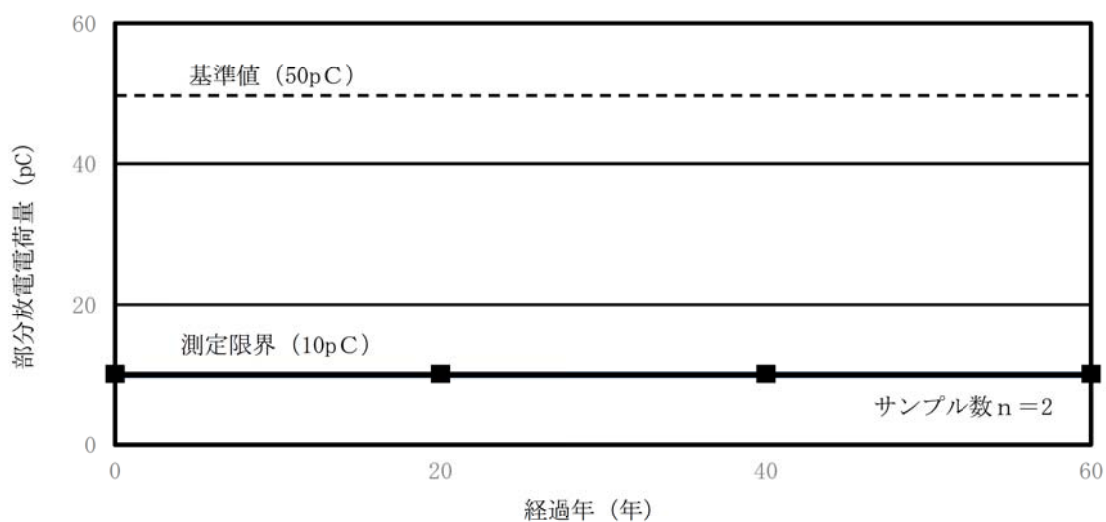


図2.3-1f 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

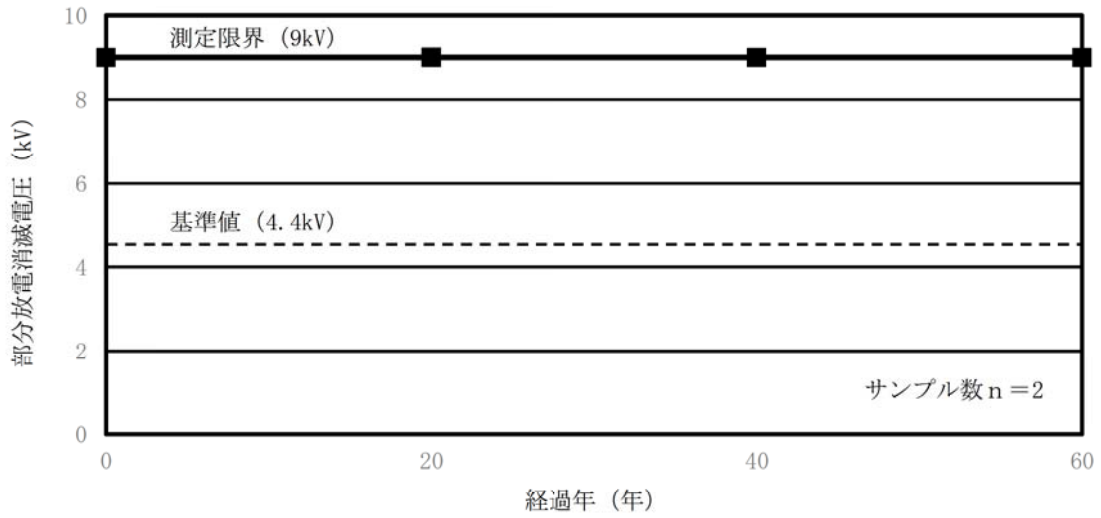


図2.3-1g 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

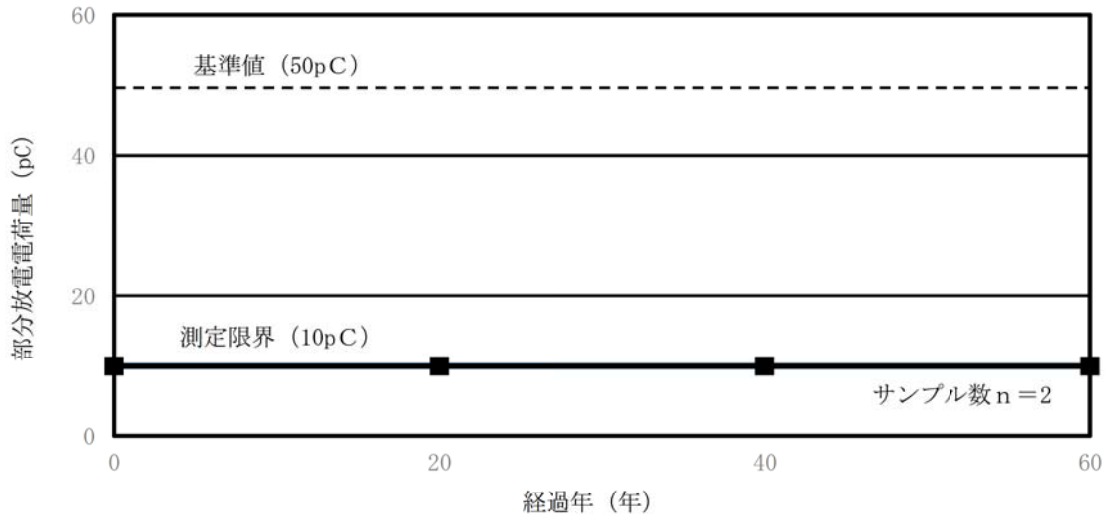


図2.3-1h 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

② 現状保全

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

2.3.2 励磁装置の絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

a. 事象の説明

励磁装置は励磁用の変圧器であることから、通電による発熱や周囲環境条件の影響を受け、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

励磁装置の絶縁低下に対しては、励磁装置単独での絶縁に対しての精密点検が必要であり、過去に実施した精密点検の結果からは、設備の納入後20年前後より絶縁抵抗の低下を生じる可能性が考えられる。

しかしながら、励磁装置は屋内に設置された制御盤筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にあることから急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

励磁装置の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施し、異常のないことを確認している。

また、20年経過後適切な頻度で励磁装置の絶縁抵抗測定及び精密点検としてtan δ 測定、直流吸収比測定及びコイルの目視点検を実施し、異常のないことを確認することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、励磁装置の絶縁低下の可能性は否定できないが、励磁装置の絶縁低下は、絶縁抵抗測定及び精密点検で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

励磁装置の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定並びに適切な頻度で精密点検としてtan δ 測定、直流吸収比測定及びコイルの目視点検を実施していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 安全保護系シーケンスキャビネット
- ② 安全保護系補助リレーラック
- ③ 原子炉補助盤
- ④ 換気空調盤
- ⑤ 中央制御室外原子炉停止盤
- ⑥ 所内盤
- ⑦ 充てんポンプ速度制御盤・補助盤
- ⑧ 制御用空気圧縮機盤
- ⑨ 空調用冷凍機制御盤
- ⑩ 1次冷却材ポンプ母線計測盤

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 計器用変圧器の絶縁低下 [1次冷却材ポンプ母線計測盤]

仕様、構造及び使用環境が代表機器と同等であり、健全性評価結果から判断して、計器用変圧器の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、計器用変圧器の絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、計器用変圧器の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象又は2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.2.1 操作スイッチの導通不良[安全保護系シーケンスキャビネット, 原子炉補助盤, 換気空調盤, 中央制御室外原子炉停止盤, 所内盤, 充てんポンプ速度制御盤・補助盤]

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器の動作確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 筐体 [共通] , チャンネルベース及び取付ボルト [制御用空気圧縮機盤, 空調用冷凍機制御盤] の腐食 (全面腐食)

筐体, チャンネルベース及び取付ボルトは炭素鋼であり, 腐食が想定される。

しかしながら, 大気接触部は塗装又は亜鉛メッキにより腐食を防止しており, 塗膜又はメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また, 巡視点検等で目視により塗膜又はメッキ面の状態を確認し, はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより, 機器の健全性を維持している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 調節計〔制御用空気圧縮機盤，空調用冷凍機制御盤〕，温度スイッチ及び電流変換器〔空調用冷凍機制御盤〕の特性変化

調節計等は，長期間の使用に伴い入出力特性の変化やマイグレーションが想定される。

しかしながら，調節計等を構成している電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており，屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく，短期間での入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また，製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから，マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

更に，機器点検時の動作試験により，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 埋込金物の腐食（大気接触部）（全面腐食）〔充てんポンプ速度制御盤・補助盤を除いて共通〕

埋込金物は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，大気接触部は塗装により腐食を防止しており，塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また，巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し，はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 整流器の特性変化〔制御用空気圧縮機盤〕

整流器のシリコン整流素子は，長期間の使用に伴い，熱により空乏層が変化し，漏れ電流が増加することによる特性変化が想定される。

しかしながら，使用電流値と比べて一定の裕度を持つ定格の素子を使用することで，発熱を低減するとともに，放熱板で冷却することによりシリコン整流素子の温度を一定温度以下に保つように設計しており，特性が急激に変化する可能性は小さい。

また，試運転時に指示値に有意な変化がないことを確認することにより，機器の健全性を維持している。

したがって，今後も機能の維持は可能であることから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 変圧器の絶縁低下 [充てんポンプ速度制御盤・補助盤, 制御用空気圧縮機盤, 空調用冷凍機制御盤]

変圧器の絶縁物は有機物であり, 熱的, 電氣的, 環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら, コイルの許容最高温度130℃に対して, 定格運転時の最大温度は50℃であることから, 絶縁低下の可能性は小さいと考える。

また, 機器点検時の絶縁抵抗測定により, 機器の健全性を確認している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 主回路導体の腐食 (全面腐食) [1次冷却材ポンプ母線計測盤]

主回路導体はアルミニウム合金であり, 腐食が想定される。

しかしながら, エポキシ樹脂により腐食を防止しており, 機器点検時の目視確認により機器の健全性を維持している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 支持碍子の絶縁低下 [1次冷却材ポンプ母線計測盤]

支持碍子は無機物の磁器であり, 経年劣化の可能性はない。

なお, 長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら, 支持碍子は筐体に内蔵しているため, 塵埃が付着しにくい環境にある。

また, 機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

したがって, 今後も機能の維持は可能であることから, 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 基礎ボルトの腐食 (全面腐食) [安全保護系シーケンスキャビネット, 安全保護系補助リレーラック, 中央制御室外原子炉停止盤, 充てんポンプ速度制御盤・補助盤]

代表機器同様に, 「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし, 本評価書には含んでいない。

2.2.3 2)に該当する事象のうち，日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.2.10 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）[充てんポンプ速度制御盤・補助盤を除いて共通]

埋込金物は炭素鋼であり，腐食が想定される。

しかしながら，コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが，コンクリートが中性化に至り，埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

